

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**AVALIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS PARA UM SISTEMA
DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS PARA A PROVÍNCIA DE
MAPUTO-MOÇAMBIQUE**

RUI MAURO TEIXEIRA RETAGI

Florianópolis
Julho de 2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**AVALIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS PARA UM SISTEMA
DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS PARA A PROVÍNCIA DE
MAPUTO-MOÇAMBIQUE**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), como parte dos requisitos parciais exigidos pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Antonio Fortunato Marcon

RUI MAURO TEIXEIRA RETAGI

Florianópolis
Julho de 2012

R437a

Retagi, Rui Mauro Teixeira.

Avaliação de uma base de dados para um sistema de gerência de pavimentos para a província de Maputo-Moçambique/ Rui Mauro Teixeira Retagi; Orientador: Antonio Fortunato Marcon – Florianópolis, 2012.

217.: il., graf., tab., 21cm.

Inclui referências.

Trabalho de conclusão de curso (dissertação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2012.

1. Sistema de pavimentação. 2. Gerência de pavimentos. 3. Rede rodoviária. I. Marcon, Antônio Fortunato. II. Título.

CDU
625:004.65

AVALIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS PARA UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS PARA A PROVÍNCIA DE MAPUTO-MOÇAMBIQUE

RUI MAURO TEIXEIRA RETAGI

Dissertação julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Florianópolis, 13 de julho de 2012.

Prof. Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto
Coordenador do PPGEC

Prof. Dr. Antonio Fortunato Marcon
Orientador

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Fortunato Marcon - Moderador

Prof^a. Dra. Liedi Légi Bariani Bernucci - USP

Prof. Dra. Liseane Padilha Thives – ECV/UFSC

Prof. Dra. Lenise Grando Goldner – ECV/UFSC

Dr. Nilton Valle – DEINFRA/SC

*Em memória dos meus avós
Manuel Luís Teixeira, Cassiano
Retagi e Guilhermina Maria da
Costa.*

*Aos meus pais, Manuel Hermínio
Teixeira Retagi e Vanize
Natividade Teixeira.*

*Aos meus irmãos Marlene, Marco
e Mayra.*

*E a minha querida esposa
Carolina*

AGRADECIMENTOS

À UFSC, por me ter dado muitas oportunidades e me ter formado como Engenheiro Civil.

Ao CNPq e ao Fundo de Estradas de Moçambique pelo apoio financeiro.

Ao Professor Antonio Fortunato Marcon pela atenção disposta e pela ajuda em todos os momentos mais difíceis desta empreitada.

Ao Michigan Local Technical Assistance Program (LTAP) pelo apoio dado, mais concretamente ao Sr. Terrance MchNish, Tim Colling, Chris Codere e todo pessoal do Departamento de Programação.

Ao Departamento de Planificação da ANE, através do Eng. Francisco Matola, Dr. Daniel Lucas, Eng. Pedro de Carvalho e Eng. Tayob.

Ao Fundo de Estradas de Moçambique na pessoa do Presidente do Conselho de Administração Eng. Francisco Pereira, Eng. Cecílio Grachane e o Eng. David Gillenger

Aos meus amigos Rafael Pavei, Michele Matos, Alexandre Gargheti, Nuno do Rosário Nicha Abdulramene, Assmita Premji, Dulce Graça Nurima Alcatiri, Pedro Antunes, Sarah Amaral, Evelyn Rossdeiuther, Michelli Vecchi, Suzana Schmidt.

Agradecimento especial ao Eng. Fernando de Melo e Silva, do LTAP de Michigan, pelas ideias, críticas, respostas e a constante disposição para o desenvolvimento deste trabalho.

E para você Carol, por ter conseguido estar lá mesmo nos momentos de maior descrença, você me fez acreditar ser possível o que parecia impossível.

RESUMO

Um Sistema de Gerência de Pavimentos pode ser definido como sendo um sistema atividades interconectadas que envolve a identificação e a seleção de estratégias, com a finalidade de manter o nível de serviço dos pavimentos pertencentes a uma rede rodoviária. Este sistema está embasado em princípios de engenharia econômica para maximizar o retorno dos investimentos efetuados em uma rede rodoviária através de uma análise de benefício-custo. Este trabalho tem o objetivo de realizar um estudo experimental para a introdução de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a rede rodoviária da Província de Maputo em Moçambique, levando em conta a nova abordagem estratégica desenvolvida pelo Governo Moçambicano para o setor Rodoviário. O estudo consistiu no uso da abordagem tradicional de análise para previsão e desempenho de pavimentos e sua incorporação no Sistema de Gerência RoadSoft-GIS. O RoadSoft-GIS é um sistema único, de baixo custo de gerenciamento de pavimentos, que foi idealizado para ser usado em agências com baixo volume de tráfego e em redes rodoviárias pequenas, como a rede rodoviária Moçambicana. A pesquisa foi realizada na rede rodoviária pertencente à Província de Maputo, que concentra cerca de 55% do tráfego total do País e para onde a maioria dos investimentos são destinados. Para isso, foram coletados dados estruturais e funcionais, por mais de 10 anos (1995-2008), e inseridos em modelos de previsão de desempenho, para entender o estado atual da rede e também projetar seu desempenho futuro. Através de análises estatísticas, foram estabelecidas correlações entre parâmetros para entrada no RoadSoft-GIS, demonstrando a sua adaptabilidade e, consequentemente, seu uso apropriado na análise da rede rodoviária de Maputo. Uma vez incorporados os dados no RoadSoft-GIS, foi utilizada a rodovia com maior volume de tráfego para avaliação do seu estado atual ao longo dos próximos 20 anos, baseando-se na atual política para o setor rodoviário do Governo Moçambicano. Esta avaliação foi realizada através de um processo de otimização e seleção da melhor estratégia para os trabalhos a serem realizados na rodovia. O processo de coleta, armazenamento, análise e correlacionamento para incorporação no RoadSoft-GIS demonstrou a adequação do sistema para a rede rodoviária de Maputo, o que abre as portas para um futuro uso do mesmo por parte dos agentes do setor rodoviário Moçambicano, apesar de alguns ajustes serem necessários nos modelos de previsão de

desempenho do sistema, assim como a expansão para o uso de outros tipos de pavimento.

Palavras-chave: Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos. Modelos de Previsão de Pavimentos. Pavimentos.

ABSTRACT

A Pavement Management System involves the identification of the optimum strategies at various management levels, and maintaining a pavement at an adequate level of serviceability, based on sound economic and civil engineering standards, aiming to maximize the return of investment on a specific road or road network environment, justifying the cost-benefit of such strategies. The present study aimed to do an experimental research in order to adequate a Pavement Management System to the Mozambican Road Network, taking in to consideration the new Strategic Approach on Roads being developed by the Mozambican government. The intention was to use traditional pavement performance analysis and incorporate all the information into the RoadSoft-GIS system, which is a very unique low-cost survey pavement management system that was specially idealized to be used in to a low traffic and low income agencies. The main focus was Maputo province road network which accrues almost 55% of the country traffic volume and were the most of the govern investments are. There was collected road data from ten years in order to evaluate the condition of the network. 1995 These evaluations were done based on structural, functional and subjective analysis with the input granted by the different data collected. Pavement prediction models were then tested in order to understand the present stage of deterioration of the pavement, and thereafter linear correlation and statistical analysis were conducted in order to understand and incorporate these predictions into the RoadSoft GIS system, which they have shown to be quite conservative but valuable to the actual Maputo Road Network condition. Finally based on the actual expenditure budget for roads awarded by the government several simulations were done in order to the adequateness of the RoadSoft-GIS to the Maputo Road Network needs with regards of the best approach to the various works to be undertaken in order to reduce the number of failing pavement due to lack of maintenance approach by the Govern. By collecting the data, store and analyze, it has shown a possible future way to see as model, as well, the suitability of the RoadSoft-GIS, as prominent pavement management system, but further research should subsequently be done in order to refine its logistics models to adequate to other pavement types.

Keywords: *Pavement Management System. Performance Prediction Models. Pavements.*

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO - American Association of State Highways and Transportation Officials
ASTM - American Society for Testing and Materials
ANE Administração Nacional de Estradas
CPM - Capital Preventive Maintenance
CDP - Critical Distress Point
CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
FE - Fundo de Estradas
FHWA - Federal Highways Administration
GIS - Geographic Information System
IGG - Índice de Gravidade Global
IRI - International Roughness Index
IRSS - Integrated Road Sector Strategy
LDC – Laptop Data Collector
LTAP - Local Technical Assistance Program
MPOH - Ministério Das Obras Públicas e Habitação
MTU - Michigan Technological University
MDOT - Michigan Department of Transportation
MLTAP - Michigan Local Technical Assistance Program
MrGens - Map Reference Generation System
PASER - Pavement Surface Evaluation and Rating
PM - Preventive Maintenance
RM - Routine Maintenance
RSL - Remaining Service Life
RED - Road Evaluation Model
ROCS I e II - Roads and Coastal Shipping Projects I e II
SATCC - Southern African Transport and Communication Commission
SIG - Sistemas de Informação Geográfica
SGP - Sistemas de Gerência de Pavimentos
TRB - Transportation Research Board
TMDA - Tráfego Médio Diário Anual
TSS – Tratamento Superficial Simples
TSD - Tratamento Superficial Duplo
WB - World Bank
USACE - United State of Army Corps of Engineers

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Localização geográfica de Moçambique.....	29
Figura 2.2 - Distribuição por Província da Rede Rodoviária de Moçambique.....	32
Figura 2.3 - Extensões de rodovias por tipos de revestimento por Província (km).....	33
Figura 2.4 - Tipo de revestimento nas redes classificadas.....	34
Figura 2.5 - Condição da rede.....	35
Figura 2.6 - Província de Maputo.....	40
Figura 3.1 - Componentes de um SGP.....	42
Figura 3.2 - Base de dados como elemento central de SGP.....	47
Figura 3.3 - Referenciamento Rodoviário (2004).....	48
Figura 3.4 - Integração de Informação em um SIG.....	49
Figura 3.5 - Sobreposição de informações em um SIG.....	50
Figura 3.6 - Analisador automático da superfície do pavimento (ARAN).....	58
Figura 3.7 - PASCO: Sistema ROADRECON.....	59
Figura 3.8 - Perfilógrafo Laser (RSP).....	62
Figura 3.9 - Raio de Curvatura.....	65
Figura 3.10 - Viga Benkelman.....	67
Figura 3.11 – Representação dos defletômetros de impacto.....	68
Figura 3.12 - Pontos de aplicação de carga do FWD.....	70
Figura 3.13 - Keros PRIMA 100.....	71
Figura 3.14 - Correlação PFWD versus FWD.....	72
Figura 3.15 - Modelos de desempenho de pavimentos.....	78
Figura 3.16 - Evolução do Pavimento com a idade e sua condição - Sistema PASER de avaliação.....	84
Figura 3.17 - Representação da vida restante do pavimento e do ponto crítico do pavimento.....	89
Figura 3.18 - Visão geral do RoadSoft-GIS.....	90
Figura 3.19 - Curva de deterioração.....	91
Figura 3.20 - Processo de coleta móvel.....	92
Figura 3.21 - Submódulo de Inventário rodovia N2.....	94
Figura 3.22 - Submódulo de Inventário rodovia N2 – Detalhe....	95
Figura 3.23 - Submódulo de tipo de superfície rodovia N2.....	96
Figura 3.24 - Submódulo de classificação dos defeitos rodovia N2.....	97

Figura 3.25 - Tela de definição das superfícies dos pavimentos.....	101
Figura 3.26 - Tela de definição das superfícies dos pavimentos.....	103
Figura 3.27 - Tela de definição das estratégias e otimização....	104
Figura 3.28 - Boa <i>versus</i> Péssima Estratégia.....	105
Figura 3.29 - Comparação entre estratégias com relação à vida restante de serviço média.....	106
Figura 3.30 - Comparação entre estratégias com relação aos custos anuais.....	106
Figura 3.31 - Comparação entre estratégias com relação ao desempenho.....	107
Figura 4.1 - Fluxograma de trabalho.....	109
Figura 4.2 - Leitura de parâmetros defletométricos com PFWD.	112
Figura 4.3 - Máquina filmadora.....	117
Figura 4.4 – Aspecto da rodovia terciária R401, no km 05+200.	118
Figura 4.5 - Metodologia de designação de segmentos homogêneos.....	119
Figura 4.6 - Contagem manual de tráfego.....	121
Figura 5.1 - Evolução do IRI em relação às deflexões – Rod.N1	142
Figura 5.2 - Evolução do IRI em relação às deflexões – Rod.N2	143
Figura 5.3 - Evolução do IRI em relação às deflexões – Rod.N3	143
Figura 5.4 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N (rede primária) – Rodovia N1...	144
Figura 5.5 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N (rede primária) – Rodovia N2...	145
Figura 5.6 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N (rede primária) – Rodovia N3...	145
Figura 5.7 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com revestimento CAUQ (rede primária).....	146
Figura 5.8 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com revestimento TSD (rede primária).....	147
Figura 5.9 - Evolução do IRI em relação às deflexões (rede secundária) – N 200.....	148
Figura 5.10 - Evolução do IRI em relação às deflexões (rede secundária) – N 201.....	149
Figura 5.11 - Evolução do IRI em relação às deflexões (rede secundária) – N 202.....	149
Figura 5.12 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N (rede secundária).....	150

Figura 5.13 - Comparação de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N (rede secundária).....	151
Figura 5.14 - Comparação de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N (rede secundária).....	151
Figura 5.15 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com revestimento CAUQ (rede secundária).....	152
Figura 5.16 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com revestimento TSD (rede secundária).....	153
Figura 5.17 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos não pavimentados (rede secundária).....	154
Figura 5.18 - Evolução do IRI em relação ao número N das rodovias não pavimentadas (rede terciária).....	155
Figura 5.19 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N das rodovias não pavimentadas (rede terciária).....	156
Figura 5.20 - Evolução do IRI em relação às deflexões das rodovias não pavimentadas (rede terciária).....	156
Figura 5.21 - Evolução do IRI em relação ao número N das rodovias pavimentadas (rede terciária).....	157
Figura 5.22 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N das rodovias pavimentadas (rede terciária).....	158
Figura 5.23 - Evolução do IRI em relação às deflexões das rodovias pavimentadas (rede terciária).....	159
Figura 5.24 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com CAUQ (rede terciária).....	160
Figura 5.25 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com TSD (rede terciária).....	161
Figura 5.26 - Correlação IRI versus PASER rodovias primárias e secundárias (pavimentadas).....	162
Figura 5.27 - Correlação IRI versus PASER rodovias terciárias (pavimentadas).....	162
Figura 5.28 - Correlação IRI versus PASER rodovias terciárias (não pavimentadas).....	163
Figura 5.29 – Decréscimo das condições de serviço da superfície, em milhas.....	168
Figura 5.30 – Tendência de decréscimo das condições de serviço dos pavimentos.....	169
5.31 – Localização da N1 – (RosdSoft-GIS, 2010).....	170
Figura 5.32 - Descrição da Estratégia (RoadSoft-GIS, 2009).....	173

Figura 5.33 - Percentagem de milhas boas, regulares e pobres (Simulação Estratégia 1).....	173
Figura 5.34 - Média por ano da vida restante do pavimento.....	174
Figura 5.35 - Custos por ano para a estratégia 1.....	175
Figura 5.36 - Descrição da estratégia 2.....	176
Figura 5.37 - Percentagem de milhas boas, regulares e pobres (Simulação Estratégia 2).....	177
Figura 5.38 - Média por ano da vida restante do pavimento.....	177
Figura 5.39 – Distribuição de custo por ano para a estratégia 2...	178
Figura 5.40 - Descrição da Estratégia.....	179
Figura 5.41 - Percentagem de milhas boas, regulares e pobres (Simulação Estratégia 3).....	180
Figura 5.42 - Média por ano da vida restante do pavimento.....	180
Figura 5.43 - Custos por ano para a estratégia 3.....	181
Figura 5.44 - Custos por ano das estratégias.....	184
Figura 5.45 - Comparação do custo total das estratégias.....	184

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação entre a densidade populacional e a rede rodoviária provincial.....	30
Tabela 2.2 – Extensões da Rede Rodoviária de Moçambique (km).....	32
Tabela 2.3 - Classificação dos tipos de revestimento por Província (km).....	33
Tabela 2.4 - Tipo de revestimento nas redes classificadas.....	33
Tabela 2.5 - Condição da rede.....	34
Tabela 2.6 - Custo de manutenção por km em USD.....	38
Tabela 2.7 - Frequência de Intervenção.....	38
Tabela 2.8 - Distribuição Rodoviária da Província de Maputo.....	40
Tabela 3.1 - Intervalos de condição de pavimentos em função do IGG.....	57
Tabela 3.2 - Condição do pavimento quanto à irregularidade (Rodovias Pavimentadas).....	61
Tabela 3.3 - Distribuição da rede pavimentada conservada pelo DEINFRA/SC por classes de tráfego e categoria de rodovia.....	75
Tabela 3.4 - Fatores equivalência de carga da USACE.....	76
Tabela 3.5- Fatores de equivalência da AASHTO.....	76
Tabela 3.6 - Classificação de modelos de previsão de desempenho e nível de gerência.....	80
Tabela 3.7 - Escalas atribuídas aos pavimentos.....	85
Tabela 3.8 - Escalas atribuídas a pavimentos de concreto asfálticos.....	86
Tabela 3.9 - Escalas atribuídas a rodovias com tratamento superficial.....	87
Tabela 3.10 - Escalas atribuídas a rodovias não pavimentadas.....	88
Tabela 4.1 - Localização dos pontos de levantamento.....	111
Tabela 4.2 - Classificação de Veículos em Moçambique (Análise de Tráfego).....	122
Tabela 4.3 - Correlação da nomenclatura entre Moçambique e Brasil.....	123
Tabela 4.4 - Fatores de carga equivalentes.....	124
Tabela 4.5 - Fator climático regional.....	124
Tabela 4.6 - Caracterização dos segmentos estudados (Rodovias da Rede Terciária).....	128
Tabela 5.1 - Estrutura dos pavimentos da rede primária.....	133
Tabela 5.2 - Estrutura dos pavimentos da rede secundária.....	134
Tabela 5.3 - Estrutura dos pavimentos da rede terciária.....	135

Tabela 5.4 - Estrutura dos pavimentos da rede terciária.....	136
Tabela 5.5 - Estrutura dos pavimentos da rede terciária.....	137
Tabela 5.6 - Estrutura dos pavimentos da rede terciária.....	138
Tabela 5.7 - Caracterização dos segmentos estudados (Rodovias da Rede Primária e Secundária).....	139
Tabela 5.8 - Caracterização dos segmentos estudados (Rodovias da Rede Terciária).....	140
Tabela 5.9 - Segmentos homogêneos com valores de PASER correlacionados com IRI (Redes primárias e secundárias) – Dados de 2006.....	164
Tabela 5.10 - Segmentos homogêneos com valores de PASER correlacionados com IRI (Rede não pavimentada) – Dados de 2006.....	166
Tabela 5.11 - Resumo das classificações PASER e a RSL (Vida Restante de Serviço).....	171
Tabela 5.12 - Resumo das classificações PASER e a RSL para estratégia 1, 2, 3.....	182

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	25
1.1 JUSTIFICATIVA.....	26
1.2 OBJETIVO GERAL.....	27
1.2.1 Objetivos Específicos.....	27
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	27
2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO SETOR RODOVIÁRIO MOÇAMBICANO, CONDIÇÕES INSTITUCIONAIS.....	29
2.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.....	29
2.2 DESCRIÇÃO DA REDE RODOVIÁRIA.....	30
2.2.1 Condição Geral da Rede.....	34
2.3 ESTRATÉGIA INTEGRADA DO SETOR RODOVIÁRIO 2007 – 2011 (IRSS – INTEGRATED ROAD SECTOR STRATEGY).....	35
2.3.1 Estratégia Integrada de Manutenção.....	36
2.3.1.1 Custos para manutenção.....	37
2.3.1.2 Frequência de Intervenções e Manutenção.....	38
2.3.2 Novo Sistema de Gerência de Pavimentos.....	39
2.3.3 Província de Maputo.....	39
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	41
3.1 SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS (SGP).....	41
3.1.1 Definição e Informações Básicas.....	41
3.1.2 Níveis de Decisão.....	42
3.1.3 Objetivos.....	43
3.1.4 Base e Banco de Dados.....	45
3.1.5 Sistemas de Referenciamento.....	47
3.1.6 Sistemas de Informações Geográficas (SIG).....	48
3.2 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE PAVIMENTOS.....	51
3.3 AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS.....	52
3.3.1 Avaliação Objetiva dos Pavimentos.....	56
3.3.2 Equipamentos de Avaliação de Superfície.....	57
3.3.3 Avaliação Funcional.....	59
3.3.4 Equipamentos de Avaliação Funcional.....	61
3.4 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS.....	63
3.4.1 Parâmetros da Avaliação Estrutural.....	64
3.4.2 Equipamentos para Avaliação Estrutural.....	66
3.4.2.1 <i>Viga Benkelman</i>	66
3.4.2.2 <i>Falling Weight Deflectometer (FWD)</i>	67
3.4.2.3 <i>Portable Falling Weight Deflectometer (PFWD)</i>	70

3.4.3 Avaliação de Tráfego.....	73
3.4.3.1 Constituição da frota de Veículos.....	73
3.4.3.2 Caracterização dos Volumes de Tráfego.....	74
3.4.3.3 Caracterização das cargas de veículos.....	75
3.5 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO.....	76
3.5.1 Modelos Empíricos ou de Regressão.....	80
3.5.1.1 Modelos por Regressão Desenvolvidos por Marcon.....	81
3.5.1.2 Modelos por Regressão desenvolvidos por Paterson.....	81
3.6 SISTEMA DE GERÊNCIA PASER/ROADSOFT-GIS.....	82
3.6.1 Estrutura do SGP PASER/RoadSoft-GIS.....	82
3.6.2 Sistema PASER.....	83
3.6.3 Sistema Computacional RoadSoft-GIS.....	89
3.6.3.1 Coleta Móvel de Dados.....	91
3.6.3.2 Módulo da rede Rodoviária.....	93
3.6.3.3 Modelos de previsão de desempenho do RoadSoft-GIS....	97
3.6.3.3.1 Modelos de Crescimento.....	98
3.6.3.4 Tipos de Intervenção do RoadSoft.....	100
3.6.3.5 Definição das estratégias e otimização.....	103
4 METODOLOGIA.....	108
4.1 ETAPA.....	110
4.1.1 Coleta de Dados.....	110
4.1.2 Condições Estruturais (Levantamentos Defletométricos).....	110
4.1.2.1 Capacidade estrutural.....	113
4.1.2.1.1 Cálculo do Raio de Curvatura e Bacia de Deformação..	113
4.1.2.1.2 Determinação das Espessuras dos Pavimentos.....	113
4.1.2.1.3 Cálculo do Módulo Resiliente (MR) e o Número Estrutural Efetivo (SNEF).....	114
4.1.3 Condições Funcionais (Levantamentos de Irregularidade Superficial).....	115
4.1.4 Condições Superficiais.....	116
4.2 ETAPA II.....	118
4.2.1 Análise dos Dados Coletados.....	118
4.2.2 Divisão dos Segmentos Homogêneos.....	118
4.2.3 Determinação do Número N.....	119
4.2.3.1 Tráfego médio diário anual.....	120
4.2.3.2 Procedimento de contagem de tráfego.....	121
4.2.3.3 Classificação do tráfego.....	121
4.2.3.4 Cálculo do número N.....	123
4.2.3.4.1 Cálculo do fator de carga (FC).....	123
4.2.3.4.2 Cálculo do fator de veículo (FE).....	124

4.2.3.4.3 Cálculo do fator climático regional (FR).....	124
4.2.4 Análise funcional.....	125
4.2.5 Análise de Desempenho dos Pavimentos.....	125
4.2.5.1 <i>Evolução IRI versus N comparando com Paterson.....</i>	<i>126</i>
4.2.5.2 <i>Evolução IRI versus N comparando com o tipo de revestimento de pavimento.....</i>	<i>126</i>
4.3 ETAPA III.....	127
4.3.1 Interpolação IRI versus PASER.....	128
4.3.2 Estudo de caso N1.....	129
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	131
5.1 APRESENTAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS...	131
5.1.1 Tráfego.....	131
5.1.2 Estrutura de Pavimento.....	132
5.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS.....	142
5.2.1 Rede Primária.....	142
5.2.1.1 <i>Análise considerando segmentos pavimentados com CAUQ.....</i>	<i>146</i>
5.2.1.2 <i>Análise considerando segmentos pavimentados com TSD.....</i>	<i>147</i>
5.2.2 Rede Secundária.....	148
5.2.2.1 <i>Análise considerando segmentos pavimentados com CAUQ.....</i>	<i>152</i>
5.2.2.2 <i>Análise considerando segmentos pavimentados com TSD.....</i>	<i>152</i>
5.2.2.3 <i>Análise considerando segmentos não pavimentados.....</i>	<i>153</i>
5.2.3 Rede Terciária.....	154
5.2.3.1 <i>Análise considerando segmentos pavimentados com CAUQ.....</i>	<i>159</i>
5.2.3.2 <i>Análise considerando segmentos pavimentados com TSD.....</i>	<i>160</i>
5.2.4 Interpolação IRI versus PASER.....	161
5.3 APLICAÇÃO DO ROADSOFT–GIS.....	167
5.3.1 Condição Geral da Rede.....	167
5.3.2 Estudo de caso – Estrada Nacional Número 1 (N1).....	169
5.3.2.1 <i>Apresentação do estado dos pavimentos.....</i>	<i>170</i>
5.3.2.2 <i>Estratégias para manutenção do pavimento.....</i>	<i>171</i>
5.3.2.2.1 <i>Estratégia 1 - ANE 1.....</i>	<i>171</i>
5.3.2.2.2 <i>Estratégia 2 - ANE 2.....</i>	<i>175</i>
5.3.2.2.3 <i>Estratégia 3 - Otimização RoadSoft-GIS.....</i>	<i>178</i>
5.3.2.3 <i>Análise Comparativa estratégia versus estratégia.....</i>	<i>181</i>
5.3.2.3.1 <i>Avaliação PASER e RSL.....</i>	<i>182</i>
5.3.2.3.2 <i>Avaliação de Custos.....</i>	<i>183</i>
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	185

6.1 CONCLUSÕES.....	185
6.2 ANÁLISE E ESTABELECIMENTO DE PADRÕES DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS EXISTENTES.....	186
6.2.1 Aplicação do Sistema Paser/Roadsoft-GIS.....	187
6.3 RECOMENDAÇÕES.....	188
REFERÊNCIAS.....	189
APÊNDICE A – Características gerais dos pavimentos.....	197
APÊNDICE B – Cálculo do Número N.....	200
ANEXO A – Espessura dos pavimentos.....	213

1 INTRODUÇÃO

Moçambique é um país vasto e pouco povoado cuja principal atividade econômica é a agricultura.

Segundo o censo geral de 2000, o principal meio de transporte é o rodoviário, garantindo o transporte de 65% de cargas e 80% de passageiros. A rede rodoviária é constituída por 34.332 km dos quais 16,6 % é pavimentada e a restante 83,4% não pavimentadas. Esta rede ficou seriamente destruída durante os 30 anos de guerra que assolou o País entre as décadas de 60 a 90 (INE, 2000).

Durante este período, além da grande dificuldade de recursos para manutenção rodoviária, devido às condições de segurança, contribuíram para sua degradação, a escassez de fundos e a falta de pessoal capacitado em número e qualidade para atender as diferentes demandas (ANE, 2001).

O mau estado de conservação das rodovias contribuiu para elevar os custos de transporte e, consequentemente, reduzindo substancialmente a sua utilização, impondo diversas restrições à comercialização e ao desenvolvimento econômico, uma vez que vastas regiões do país ficaram isoladas e sem acesso aos seus principais mercados consumidores.

Com o ambiente de paz e consequente crescimento da demanda por transporte de cargas e passageiros e aumento da frota, determinou-se que os órgãos ligados ao setor rodoviário buscassem uma ferramenta de gerenciamento rodoviário capaz de maximizar o retorno de todos os investimentos realizados na rede.

Ferramentas para o gerenciamento de infraestrutura rodoviária passaram a ser uma grande necessidade junto aos órgãos rodoviários. A sua implementação, tem como principal objetivo, usar de forma racional e contínua os fundos disponíveis para construção e manutenção, justificando os números no orçamento de cada agência rodoviária.

Um sistema de gerenciamento rodoviário possibilita aos tomadores de decisão, definir estratégias otimizadas de aplicação dos recursos disponíveis, através de uma análise racional, com base em procedimentos de engenharia econômica pré-estabelecidos. São avaliadas todas as estratégias e alternativas para certo período de análise definido, baseando-se em valores pré-estabelecidos de atributos qualitativos e quantitativos dos pavimentos, sujeitos a critérios predefinidos de um orçamento estimado (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994).

As primeiras ideias de manutenção estão datadas na literatura por volta de 1767, por Pierre Jerome Treseguet, na França, que com a introdução de inovações nos projetos de execução, através da adoção de camadas com espessuras menores, bases compactadas e bem drenadas para o suporte de cargas maiores aplicadas sobre ele chegou à conclusão, que a contínua manutenção dos mesmos aumentaria o ciclo de vida dos pavimentos. Através desta ideia se baseiam todos os sistemas modernos de gerenciamento rodoviário (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994).

Em Moçambique somente na década de 90 com os programas ROCS I e ROCS II (Programas de Estradas e Cabotagem Marítima), foi introduzido o conceito de gerenciamento rodoviário, tendo como base as exigências das instituições do Breton Woods (Banco Mundial, Fundo Monetário Internacional) de forma a justificar os orçamentos rodoviários para obtenção de financiamento para os programas de manutenção (SSI, 2006).

Para um desenvolvimento econômico seguro e sustentável de um país é necessário que haja empenho na manutenção rodoviária, pois, uma rede rodoviária em bom estado e com boas políticas para sua conservação e manutenção, levará a um maior e contínuo desenvolvimento do país, diminuindo o nível de pobreza e aumentando a expectativa de vida da população.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em Moçambique, vários sistemas de gerência de pavimentos foram implementados começando como Highway Network Management System (HNMS), Road Management System (RMS), Road Economic Decision Model (RED), e mais recentemente o Integrated Road Management System (IRMS). Quase todos eles acabaram por falhar por falta de uma política consistente de continuidade de processo.

A maioria esbarrou na inadequação à realidade Moçambicana. Isto se deveu principalmente pela falta de pessoal capacitado, assim como a inexistência de uma base dados confiável e atualizada de forma a desenvolver técnicas e estratégias capazes de serem utilizadas para a rede rodoviária Moçambicana.

A apresentação desta pesquisa pretende abordar a premissa de um sistema abrangente capaz de atender requisitos básicos de um órgão rodoviário, tendo em mente que o sistema de gerenciamento é único para cada órgão, pois tem que estar intrinsecamente inserido nas condições de cada lugar onde for implantado. (HAAS; HUDSON;

ZANIEWSKI, 1994).

1.2 OBJETIVO GERAL

Dando continuidade a pesquisas sobre sistemas de gerenciamento rodoviário, este trabalho tem como finalidade apresentar um estudo sobre um sistema de gerenciamento rodoviário compatível às condições das rodovias Moçambicanas.

1.2.1 Objetivos Específicos

O presente trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos, capaz de ser usado pelo órgão administrativo rodoviário da Província de Maputo em Moçambique.

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Compilação de dados existentes e coleta de dados em campo das características gerais dos pavimentos constituintes da rede rodoviária da província de Maputo;
- Análise e estabelecimento de padrões de desempenho dos pavimentos existentes;
- Aplicação do Sistema PASER/RoadSoft-GIS à rede rodoviária estudada.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

De forma a entender o tema abordado nesta dissertação, o trabalho foi dividido em seis capítulos descritos abaixo:

- Capítulo 1: Apresenta a introdução, onde são percorridos sobre os principais assuntos a serem abordados ao longo de toda dissertação, a justificativa e os objetivos do tema abordado;
- Capítulo 2: Apresenta a localização de Moçambique e a Província de Maputo, uma breve contextualização do atual estágio do setor rodoviário Moçambicano;
- Capítulo 3: Apresenta a revisão da literatura consultada, relacionada com o tema discutido na dissertação. Mais concretamente, discorre sobre a conceitualização dos Sistemas de Gerenciamento Rodoviários avaliações estruturais, funcionais, e a descrição do Sistema PASER/RoadSoft-GIS;
- Capítulo 4: Apresentam os materiais e métodos com os quais os

dados das condições estruturais, funcionais, superficiais e tráfego foram levantados, e a metodologia de entrada dos mesmos no Sistema PASER/RoadSoft-GIS;

- Capítulo 5: Apresenta os resultados dos levantamentos e avaliações discorrendo sobre as principais tendências encontradas durante os levantamentos e sua interrelação com os resultados obtidos pelo Sistema PASER/RoadSoft-GIS;
- Capítulo 6: Apresenta as conclusões e sugestões para futuras pesquisas;

Por fim, estão listadas as referências bibliográficas utilizadas para compor a revisão de literatura, os apêndices e os anexos.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO SETOR RODOVIÁRIO MOÇAMBICANO, CONDIÇÕES INSTITUCIONAIS

2.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Moçambique está localizado na Costa Sul Oriental de África, em frente à Ilha de Madagáscar. Seu território cobre uma superfície de 779.337 km², tendo uma extensão de 4.330 km como fronteira terrestre, fazendo fronteira ao Norte com a República da Tanzânia, ao Noroeste com a República do Malawi e a República da Zâmbia, a Oeste a República do Zimbabwe e a República da África do Sul, ao Sudoeste o Reino da Suazilândia e Sul pela República da África do Sul. A Leste é banhado pelo Oceano Índico, possuindo uma extensão de costa marítima de 2.514 km. A Figura 2.1 apresenta a localização de Moçambique.

Figura 2.1 - Localização geográfica de Moçambique



Fonte: Google Corporation (2007).

Moçambique é um país vasto e pouco populoso, segundo o INE (2007) possui uma densidade populacional de 24,58 habitantes por

quilometro quadrado. A Tabela 2.1 apresenta uma comparação descritiva entre a densidade populacional e a rede rodoviária por província.

Tabela 2.1 – Comparação entre a densidade populacional e a rede rodoviária provincial

Província	Área (Km ²)	População	Densidade (hab/Km ²)	Rede Viária (Km)	Km/1000 hab	Km/1000 Km ²
Maputo	22.693	1.205.709	53,13	1.759	1,46	78
Gaza	75.334	1.228.514	16,31	3.018	2,46	40
Inhambane	68.775	1.271.818	18,49	3.536	2,78	51
Manica	62.272	1.412.248	22,68	2.738	1,94	44
Sofala	67.753	1.642.920	24,25	2.581	1,57	38
Tete	98.417	1.783.967	18,13	3.744	2,10	38
Zambezia	103.478	3.849.455	37,20	4.965	1,29	48
Nampula	79.010	3.985.613	50,44	4.893	1,23	62
Niassa	122.827	1.170.783	9,53	3.946	3,37	32
Cabo Delgado	78.778	1.606.568	20,39	3.152	1,96	40
Mozambique	779.337	19.157.595	24,58	34.332	1,79	44

Fonte: ANE (2001).

2.2 DESCRIÇÃO DA REDE RODOVIÁRIA

Moçambique possui uma rede rodoviária de aproximadamente 34.332 km, dos quais 4.300 km são classificados como rodovias primárias, 7.621 km como rodovias secundárias, 13.130 km como rodovias terciárias, e os restantes 9.281 km são classificadas como rodovias vicinais. O Quadro 2.1 apresenta a definição de cada tipo de classificação atribuída, segundo estabelecido pela Autoridade Nacional de Estradas (ANE).

Quadro 2.1 - Classificação da Rede Rodoviária Moçambicana

DESIGNAÇÃO	DEFINIÇÃO
Rodovias Primárias	Rodovias que conectam as capitais provinciais aos principais centros econômicos e, por sua vez, aos maiores portos marítimos. Rodovias que servem de corredores internacionais ligando os países vizinhos com os principais portos. (Ex.: Estrada Nacional Número 1 N1).
Rodovias Secundárias	Rodovias que conectam centros provinciais, portos marítimos e ribeirinhos de grande importância econômica, com as capitais provinciais e ou à rede primária. (Ex. Estrada Nacional Número 200 N200).
Rodovias Terciárias	Rodovias que conectam os centros populacionais distritais e áreas de grande atividade econômica às redes primárias e secundárias ou diretamente às capitais provinciais (Ex.: Rodovia Terciária Número 400 R400).
Rodovias Vicinais	Rodovias responsáveis por garantir a circulação de veículos entre pequenos vilarejos e povoados com certa atividade econômica e, de conectar estes à rede terciária, secundária e primária. (Ex.: 800).

Fonte: ANE (2001).

As rodovias pertencentes às redes primária e secundária são categorizadas como Rodovias Nacionais, garantindo a maior parte da circulação de bens e as rodovias pertencentes à rede terciária e vicinal são por sua vez categorizadas como Rodovias Regionais, pois tem função integradora e complementar às rodovias nacionais (ANE, 2004).

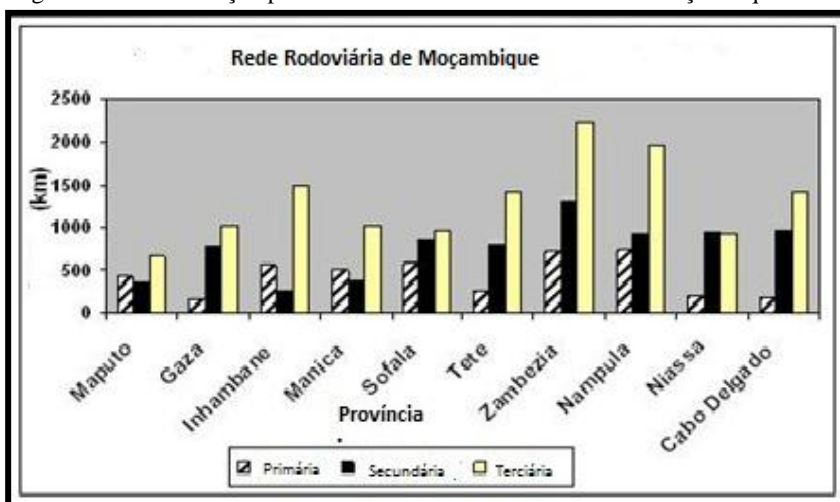
A Tabela 2.2 e a Figura 2.2 fazem uma breve apresentação das estatísticas da rede rodoviária de Moçambique.

Tabela 2.2 – Extensões da Rede Rodoviária de Moçambique (km)

Província	Classificação				Vicinal não classificada	Total
	Primária	Secundária	Terciária	Total		
Maputo	424	347	650	1.421	338	1.759
Gaza	163	781	1.022	1.966	1.052	3.018
Inhambane	558	259	1.499	2.316	1.220	3.536
Manica	513	377	1.032	1.922	816	2.738
Sofala	584	848	967	2.399	182	2.581
Tete	261	823	1.418	2.502	1.242	3.744
Zambezia	712	1.327	2.234	4.273	692	4.965
Nampula	732	930	1.965	3.627	1.266	4.893
Niassa	187	954	934	2.075	1.871	3.946
Cabo Delgado	166	975	1.409	2.550	602	3.152
Total	4300	7.621	13.130	25.051	9.281	34.332

Fonte: ANE (2004).

Figura 2.2 - Distribuição por Província da Rede Rodoviária de Moçambique



Fonte: ANE (2004).

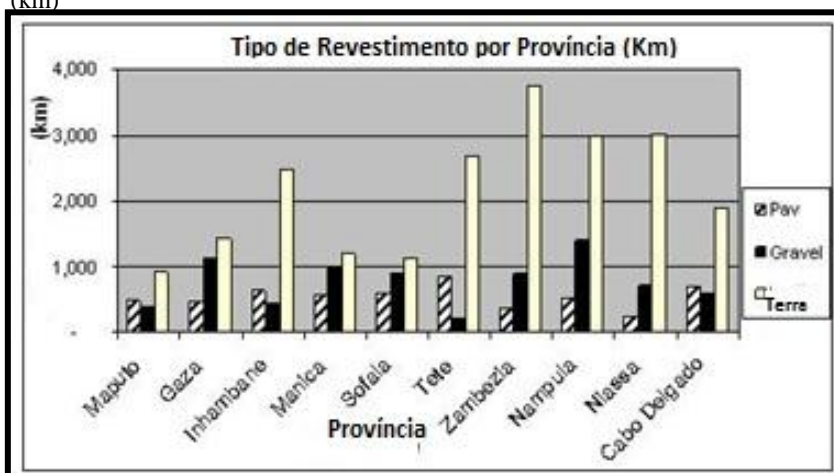
As Tabelas 2.3 e 2.4, e as Figuras 2.3 e 2.4 apresentam o tipo de revestimento encontrado na rede. Dos 34.332 km de rodovias, 5.324 km são pavimentadas, 7.578 km são de saibro e as restantes são de terra. Cerca de 1.187 km (28%) da rede primária não é pavimentada.

Tabela 2.3 - Classificação dos tipos de revestimento por Província (km)

Província	Pavimentada	Saibro	Terra	Total
Maputo	476	373	910	1.759
Gaza	464	1.126	1.428	3.018
Inhambane	622	431	2.483	3.536
Manica	567	993	1.178	2.738
Sofala	581	878	1.122	2.581
Tate	837	215	2.692	3.744
Zambezi	351	874	3.740	4.965
Nampula	516	1.392	2.985	4.893
Nassau	234	710	3.002	3.946
Cabo Delgado	676	586	1.890	3.152
Total	5.324	7.578	21.430	34.332

Fonte: World Bank (2001).

Figura 2.3 – Extensões de rodovias por tipos de revestimento por Província (km)



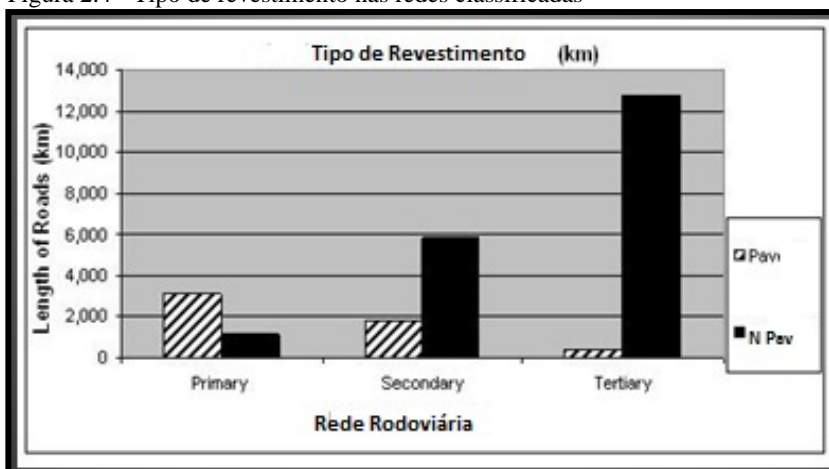
Fonte: ANE (2001).

Tabela 2.4 - Tipo de revestimento nas redes classificadas

Class. Rede	Pavimentada	Não Pavimentada	Total
Primária	3.113	1.187	4.300
Secundária	1.751	5.870	7.621
Terciária	367	12.763	13.130
Total	5.231	19.820	25.051

Fonte: World Bank (2001).

Figura 2.4 - Tipo de revestimento nas redes classificadas



Fonte: World Bank (2001).

2.2.1 Condição geral da rede

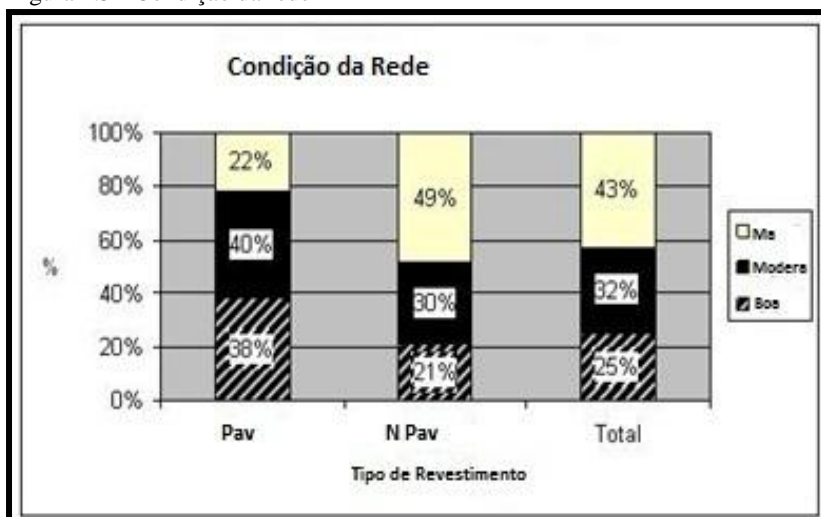
A condição geral das rodovias em Moçambique pode ser descrita como boa e razoável, pois a soma dessas condições apresentam o total de 57%, como ilustrado nas Tabelas 2.5 e Figura 2.5.

Tabela 2.5 - Condição da rede

Tipo de Superfície	Bom	Razoável	Pobre
Pavimentada	38%	40%	22%
Não pavimentada	21%	30%	49%
Total	25%	32%	43%

Fonte: ANE (2004).

Figura 2.5 - Condição da rede



Fonte: ANE; HNMS (2004).

Conforme apresentado na Tabela 2.5 e segundo ANE (2004) das rodovias pavimentadas 38 % se encontram em boas condições, enquanto que 22% estão em mau estado. Somente 21% das rodovias não pavimentadas estão em boas condições, enquanto 49% em mau estado. ANE (2004) informa ainda que a condição geral da rede rodoviária Moçambicana está em franca degradação.

2.3 ESTRATÉGIA INTEGRADA DO SETOR RODOVIÁRIO 2007 – 2011 (INTEGRATED ROAD SECTOR STRATEGY – IRSS)

De forma a melhorar as condições das rodovias Moçambicanas, o Governo do País está a implementar um novo plano de ação denominado nova Estratégia Integrada do Setor Rodoviário (Integrated Road Sector Strategy - IRSS), que teve início em 2007.

Os elementos chaves do IRSS são:

- **Sustentabilidade:** Consiste em garantir a sustentabilidade da rede rodoviária, assegurando que os recursos investidos no setor produzam benefícios em longo prazo à economia, obedecendo a duas principais premissas:

- 1 **Sustentabilidade de manutenção:** Garantindo que os trabalhos sejam planeados e

implementados para conservar os investimentos e reduzir custos de ciclo da vida totais de reabilitação, manutenção e operação das infraestruturas.

2 Sustentabilidade financeira: Garantindo que os recursos financeiros são suficientes e estão oportunamente disponíveis para financiar as obras programadas, pois, o atraso na manutenção levará à degradação acelerada das condições das rodovias e a preços desproporcionalmente mais altos para a manutenção rodoviária.

- Preservação de Bens: Manter o estado de conservação dos pavimentos minimizando os custos de manutenção em longo prazo;
- Acessibilidade: Fornecer acesso constante aos grandes pólos econômicos melhorando a acessibilidade rural;
- Transitabilidade: Manter uma rodovia transitável pelo menos seis meses do ano;
- Manutenção: A introdução de um sistema de gerência de pavimentos, e o desenvolvimento e aplicação de técnicas de manutenção e reabilitação baseadas em métodos de engenharia de forma a diminuir os custos e maximizar os retornos dos investimentos nas rodovias (ANE, 2006).

2.3.1 Estratégia Integrada de Manutenção

De forma a implementar os princípios do IRSS acima descritos, o governo Moçambicano, através do Ministério das Obras Públicas e Habitação (MOPH), desenvolveu uma estratégia integrada de manutenção rodoviária, tendo como principal objetivo a redefinição das atividades básicas de manutenção e introduzindo uma abordagem mais abrangente das necessidades de manutenção, seguindo as premissas estabelecidas pela AASHTO (1998), como abaixo:

- **Manutenção de Rotina:** Atividades que são aplicadas regularmente à extensão total dos pavimentos de forma a preservar a condição do pavimento mantendo o nível de serviço de acordo com as especificações de projeto. Estas atividades podem ser cíclicas (realizadas em uma frequência fixa) ou reativas (realizada de acordo com a necessidade, dependendo

dos efeitos do tráfego e ambiente);

- **Manutenção Periódica:** Atividades realizadas em intervalos pré-definidos de forma a manter a integridade estrutural e do revestimento do pavimento. Esta inclui reparações localizadas e reconstrução (tipicamente menos de dez por cento da extensão total do projeto em seções inferiores a 250 metros de extensão contínua) e melhoramentos geométricos limitados, relacionados com o volume de tráfego, velocidade e segurança, mas não o incremento estrutural. As atividades específicas incluem resselagens, para o rejuvenescimento do pavimento, revestimentos (duplos ou simples); camadas de fricção; revestimentos asfálticos pouco espessos (tipicamente 30 mm ou menos) e reconstrução localizada de base, controle da vegetação, pintura de sinalização horizontal, reparação e recolocação de sinais rodoviários;
- **Manutenção de Emergência:** Atividades que incluem todo reparo de um trecho cuja rota existente foi interrompida devido a circunstâncias não previstas usualmente como, por exemplo, as causas naturais;
- **Reabilitação:** Consiste em atividades realizadas em intervalos maiores quando a rodovia já esta no final da vida útil de projeto, de forma a devolver a integridade estrutural para que a rodovia possa receber cargas adicionais de tráfego;
- **Melhoramentos Localizados:** Realizado em rodovias com baixo tráfego (TMDA <20) em estradas não pavimentadas que em alguns trechos apresentam um estado crítico de irregularidade. As atividades constituem na recompactação do revestimento primário, ensaibramento da capa de rolamento, abaulamento, abertura de valetas e instalação de bueiros.

2.3.1.1 Custos para manutenção

A Tabela 2.6 apresenta os custos resultantes (dólares americanos) para um determinado tipo de pavimento, incluindo todos os fatores de acima descritos, como: transitabilidade, manutenção de rotina e periódica, por quilômetro, por ano, de acordo com a classe de cada rodovia.

Tabela 2.6 – Custo de manutenção por km em USD

Tipo de manutenção	Transitabilidade	Rotina		Periódica		Reabilitação	
Classificação	Não Pav.	Não Pav.	Pav.	Não Pav.	Pav.	Não Pav.	Pav.
Primária	N/A	1500	1100	35000	55000	80000	300000
Secundária	N/A	1200	880	28000	44000	50000	240000
Terciária	300	750	660	10000	44000	25000	200000
Vicinal	300	350	660	2500	44000	17500	175000

Legenda:

N/A = não se aplica.

Pav = Pavimentada

Fonte: ANE (2006).

2.3.1.2 Frequência de Intervenções e Manutenção

A frequência de intervenção dependerá da disponibilização de fundos, mediante um orçamento estabelecido, considerando o ciclo de vida de um pavimento sendo 20 anos. Esta abordagem estabelece e propõe que as intervenções sejam realizadas no seu tempo pré-definido, de acordo com os levantamentos periódicos do estado da rede rodoviária. Por exemplo, a manutenção periódica será realizada continuamente com abordagens preventivas. Durante oito anos e os sete anos subsequentes, de acordo com a informação obtida pelos levantamentos periódicos, se propõe que reabilitações sejam realizadas.

Estas serão somente realizadas caso os pavimentos estejam em estado avançado de degradação e da disponibilidade de orçamento. A Tabela 2.7 apresenta uma breve descrição da frequência das intervenções em anos.

Tabela 2.7 - Frequência de Intervenção

Tipo de manutenção	Transitabilidade	Rotina		Periódica		Reabilitação	
Classificação	Não Pav.	Não Pav.	Pav.	Não Pav.	Pav.	Não Pav.	Pav.
Primária	N/A	Contínua	Continua	5	8	15	20
Secundária	N/A	Contínua	Continua	5	8	15	20
Terciária	Anual	Contínua	Continua	5	8	15	20
Vicinal	Anual	Contínua	Continua	5	8	15	20

Legenda:

N/A = não se aplica.

Pav = Pavimentada

Fonte: ANE (2006).

2.3.2 Novo Sistema de Gerência de Pavimentos

Consiste na criação do Programa de Gerenciamento Rodoviário, cujo objetivo é de gerir e financiar a rede segundo princípios básicos de manutenção e de engenharia econômica. Este sistema será projetado de forma a atender as rodovias não pavimentadas e pavimentadas, sendo capaz de quantificar todos os trabalhos inerentes, de forma que estes estejam de acordo com as premissas, transitabilidade, acessibilidade e sustentabilidade, diminuindo a deterioração do pavimento.

Com esta abordagem o governo Moçambicano busca uma maior adequação dos Sistemas de Gerência de Pavimentos à realidade do País, atendendo tanto as rodovias pavimentadas e não pavimentadas, para que a sua utilização seja majorada com implementação de políticas e técnicas de manutenção mais simples e eficientes que conduzam à continuidade nos processos e sistemas de gerenciamento levar o País ao desenvolvimento do setor rodoviário.

2.3.3 Província de Maputo

A província de Maputo está localizada na parte sul de Moçambique. É a província com maior produção agroindustrial e como consequência é responsável pela maior fatia do Produto Interno Bruto (PIB), comportando 70%.

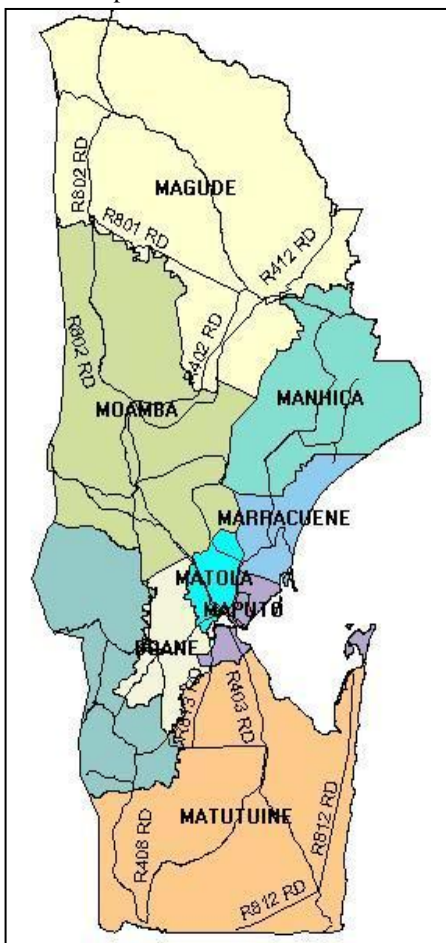
Por conseguinte, é a província onde se encontra maior parte dos investimentos internacionais e nacionais, o maior porto nacional que, através da rede rodoviária primária faz a distribuição de mercadorias para o interior da África Austral, levando assim, ao aumento do nível de tráfego. É a província com maior percentagem de tráfego do país (INE, 2000).

A Figura 2.6 apresenta a Província de Maputo com as principais rodovias

A Tabela 2.8 apresenta as extensões de rodovias por classe e a sua distribuição em toda a extensão ao longo da província de Maputo.

Deve-se considerar, para propósitos deste estudo, as rodovias vicinais não fazem parte da pesquisa. Sendo assim, a Tabela 2.8 somente se refere às rodovias Primárias, Secundárias e Terciárias.

Figura 2.6 - Província de Maputo



Fonte: Sistema RoadSoft-GIS (2007).

Tabela 2.8 - Distribuição Rodoviária da Província de Maputo

Província	Classe da Rodovia	Ext. (Km)	Pavimento (Km)	Não Pavimento (Km)	Condições do Pavimento (%)		
					Boa	Razoável	Péssima
Maputo	Primária	469	469	-	35	10	55
	Secundária	390	150	240	38	18	44
	Terciária	612	103	509	25	10	65
	Total	1471	722	749			

Fonte: ANE (2003).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS (SGP)

A sociedade atual cada vez mais se depara com o problema da falta de fundos para manutenção, reabilitação e construção de pavimentos rodoviários. Ainda assim, maior ênfase tem sido dada à construção de pavimentos novos em detrimento do desenvolvimento de abordagens consistentes, com relação à manutenção rodoviária. Deste modo, é vital que se tenha uma ferramenta que objetivamente maximize o retorno dos investimentos realizados.

3.1.1 Definição e Informações Básicas

O contínuo crescimento da malha rodoviária se deve essencialmente ao desenvolvimento econômico do mundo e à predominância do transporte rodoviário de cargas e passageiros. Como consequência, se torna necessário a disponibilização cada vez maior e eficiente de recursos, por parte dos órgãos ligados ao setor rodoviário, de forma que sejam mantidas as condições mínimas de conservação dos pavimentos, gerando maior benefício aos usuários das rodovias e diminuindo os custos de intervenção nos mesmos.

Um Sistema de Gerência de Pavimentos pode ser definido como o conjunto de métodos sistemáticos de coleta, armazenamento e análise de dados de uma rede rodoviária com intuito de racionalizar o uso dos recursos disponíveis e maximizar o retorno de todos os investimentos realizados na rede (MARCON, 1996).

Segundo Nascimento (2006), Sistemas de Gerência de Pavimentos visam obter o melhor retorno possível para os recursos investidos, fornecendo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários. Representam a evolução de um sistema arcaico de manutenção baseado apenas na correção de problemas, para um sistema de manutenção planejada, garantindo o prolongar da vida útil e os padrões mínimos de serviço em toda rede rodoviária.

De acordo com Haas, Hudson e Zaniewski (1994), é um processo que abrange todas as atividades envolvidas com o propósito de manter os pavimentos em um nível adequado de serviço, envolvendo a obtenção inicial de informações para o planejamento, à elaboração de orçamentos até a monitorização periódica do pavimento em serviço, englobando a fase de projeto, construção, manutenção e reabilitação ao

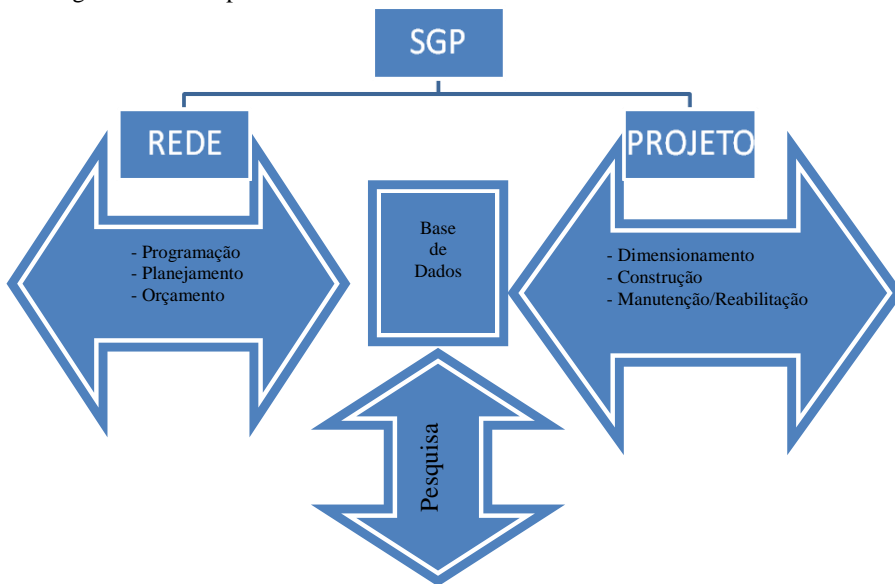
longo do seu ciclo de vida.

Um Sistema de Gerência de Pavimentos deve fornecer um método sistemático e consistente para selecionar necessidades e prioridades de manutenção e reabilitação, e determinar o tempo correto de intervenção, através da condição futura (SHAHIN, 1994).

3.1.2 Níveis de Decisão

As atividades de gerência de pavimentos e os seus componentes são caracterizados geralmente por dois níveis administrativos: gerência em nível de rede e gerência em nível de projeto, conforme o exemplo da Figura 3.1.

Figura 3.1 - Componentes de um SGP



Fonte: Adaptado de Haas, Hudson e Zaniewski (1994).

Segundo Fernandes Jr.; Oda e Zerbini (2001):

- Nível de rede: Onde são trabalhadas informações resumidas sobre a totalidade da rede rodoviária, utilizadas para as tomadas de decisões administrativas, sobre as atividades de planejamento, programação e orçamento. O principal objetivo é identificar a programação que apresenta o menor custo total ou o maior benefício em um período de análise determinado

otimizando a utilização dos recursos disponíveis. As aplicações de um sistema implantado em nível de rede citadas por Fernandes Jr.; Oda e Zerbini (2001) são:

- Identificação dos projetos candidatos para intervenções, considerando a taxa de deterioração, tipos de defeitos, etc.;
 - Priorização dos projetos candidatos, considerando as características de desempenho, tráfego, tipos de defeitos, etc.;
 - Geração de necessidades de orçamento da agência a curto e longo prazo;
 - Avaliação da condição atual do sistema e previsão da condição futura, com base nos recursos aplicados.
- Nível de projeto: Onde são tomadas decisões técnicas de gerência para projetos específicos, isto é, há um detalhamento maior nas alternativas de atividades de projeto de construção, manutenção ou reabilitação para um trecho particular dentro do programa total. Uma estratégia é selecionada a partir da comparação dos benefícios e custos associados às diversas estratégias alternativas.

Haas, Hudson e Zaniewski (1994) indicam ainda a bipartição das decisões em nível de rede: em nível de projeto e em nível de programação. A primeira refere-se a procedimentos de priorização envolvendo um ou mais projetos, enquanto o nível de programação refere-se à totalidade dos trechos da rede rodoviária considerando a totalidade dos recursos orçamentários.

3.1.3 Objetivos

O SGP permite a otimização dos recursos de manutenção das rodovias e a adequada elaboração de programas anuais e plurianuais para os diversos tipos de intervenções na rede rodoviária. Segundo Haas, Hudson e Zaniewski (1994) e Marcon (1996), um SGP tem como principais funções:

- Organizar um banco de dados para armazenar os dados e as informações dos pavimentos de uma rede rodoviária coletados durante a construção, conservação, reabilitação e operação de cada trecho ou subtrecho de rodovia;
- Avaliar os dados existentes, coletados periodicamente, visando determinar o desempenho dos pavimentos construídos;

- Programar as atividades de conservação e restauração, otimizando a aplicação dos recursos disponíveis, com o intuito de maximizar os benefícios ou determinar os montantes de recursos necessários de forma a minimizar os custos das intervenções para manutenção, de acordo com padrões de serventia adotados;
- Estabelecer atividades de pesquisa para aperfeiçoar as técnicas empregadas ou utilização de novos materiais.

Por outro lado, o Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes (DNIT, 2001) destaca dois objetivos específicos:

- A definição dos recursos disponíveis para os investimentos na manutenção rodoviária, a sua administração cujo planejamento passa pelas seguintes etapas: definição do montante de recursos disponíveis para o exercício; estabelecimento de um cronograma físico-financeiro para a aplicação desses recursos; destinação racional dos recursos para cada etapa do plano de investimento;
- A adequada utilização dos recursos disponíveis, de acordo com o volume de tráfego e o estado de superfície dos pavimentos, definindo-se soluções típicas, tais como: manutenção de rotina, remendos em pequenas extensões, correções em pontos localizados, pequenos recapeamentos para atender aspectos de natureza funcional, reconstruções, recapeamento total e remendos profundos para atender aspectos de natureza funcional e estrutural.

De acordo com Queiroz (1981) os objetivos de um SGP podem ser definidos em três principais vertentes, sendo elas:

- Objetivos econômicos: em termos econômicos um sistema de gerência deve maximizar todos os retornos dos investimentos realizados na rede sob restrições orçamentárias. Para tal, ele deve ser capaz de gerenciar o orçamento de forma a poder colocar os recursos apropriados, determinando os efeitos precisos do protelar da manutenção e a consequência para os usuários no que se refere aos custos de transporte.
- Objetivos administrativos: administrativamente deverá determinar o estado da rede, através da definição concreta do programa de manutenção a ser realizado na rede, o estabelecimento do método mais apropriado de monitoramento, determinação do nível de investimento perante as condições do

pavimento, fornecendo assim, uma base objetiva para tomada de decisão.

- Objetivos técnicos: em termos técnicos deverá se basear em uma ampla e eficiente base de dados, de forma a perceber o passado, entender o presente e antever o futuro da condição dos pavimentos, oferecendo a possibilidade de desenvolver modelos de previsão de deterioração para embasar criteriosamente os seus orçamentos anuais.

Cabe salientar que, os sistemas de gerência não fornecem decisões prontas e finalizadas, mas uma base de dados para o conhecimento das possíveis consequências dos métodos alternativos relacionados à preservação de rede rodoviária (AASHTO, 1990).

3.1.4 Base e Banco de Dados

O objetivo do conjunto de dados de uma rede rodoviária é fornecer informações pertinentes, concisas e seguras aos usuários da rede ou ao órgão rodoviário. Segundo a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1998), base de dados é um conjunto de dados e/ou informações coletados relativos aos pavimentos de uma rede, cujo objetivo é servir de fundamento para as análises e tomadas de decisão em um sistema de gerência de pavimentos e banco de dados é a reunião dos dados e/ou informação de forma organizada e de fácil acesso aos usuários. O objetivo do banco de dados é armazenar e permitir a recuperação fácil e sistemática dos elementos que formam a base de dados.

O foco principal da maioria dos sistemas de gerência está no desempenho e na condição da superfície e estrutura do pavimento. Um sistema de gerência deve ser muito mais compreensivo, necessitando de dados de uma variedade de fontes no pavimento, descritos abaixo (MARCON, 1996):

- Inventário: coleta e organização dos dados necessários para a correta implementação e para o bom desempenho do sistema. O banco de dados pode conter descrição e identificação das seções (nome da rua, tipo de pavimento, etc.), características geométricas (comprimento, largura, número de faixas etc.), histórico de construção, manutenção e reabilitação e custos associados, características e dados de tráfego (capacidade da via, tráfego diário médio etc.);

- Avaliação da condição do pavimento: a avaliação da condição atual das seções pode ser efetuada apenas por levantamento de defeitos no campo, ou seja, quantificar o tipo, a severidade e a extensão de cada uma das formas de deterioração normalmente encontradas na superfície do pavimento da rede a ser analisada;
- Priorização: adequação das necessidades aos recursos disponíveis;
- Programação das atividades de manutenção reconstrução de pavimentos: analisa-se, em nível de rede, diferentes estratégias de manutenção e reabilitação, como por exemplo, manutenção corretiva, manutenção preventiva, recapeamento e reconstrução. Feita a análise em nível de rede, passa-se à análise em nível de projeto, que consiste na definição das atividades de manutenção conforme o tipo de deterioração apresentado e, quando for o caso, no dimensionamento dos reforços e da reconstrução;
- Implementação: funcionamento efetivo do sistema, utilização da estratégia selecionada e realimentação a partir das análises dos resultados obtidos.

O banco de dados é o principal elemento de SGP. Serve como base repositória de informação requerida suporte de todas as decisões no que concerne à manutenção e reabilitação.

Usualmente em um órgão rodoviário, os dados pertencentes a uma rede são mantidos de forma separada, por exemplo, dados de construção são mantidos no departamento de construção, dados sobre o tráfego, no departamento de planejamento e o de operações mantém os de manutenção e conservação. A Figura 3.2 apresenta a interação de uma base de dados em um Sistema de Gerência de Pavimentos.

Figura 3.2 - Base de dados como elemento central de SGP



Fonte: Adaptado de Haas, Hudson e Zaniewski (1994).

3.1.5 Sistemas de Referenciamento

Os dados de um sistema de gerência de pavimentos necessitam de ser fisicamente localizados em relação à rede onde foram coletados. Isto se deve ao fato de que no interior de um órgão rodoviário, os departamentos necessitam possuir um sistema unificado de informações de forma que duplicações no sistema não ocorram (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994).

A principal característica do referenciamento é que a localização de um elemento, trecho ou rodovia é definido sempre de maneira única (MARCON, 2004). A Figura 3.3 demonstra uma identificação de uma rodovia, através de um sistema de referenciamento.

Segundo Marcon (2004) e Haas, Hudson e Zaniewski (1994) existem três métodos básicos para o referenciamento rodoviário:

- a) Sistema de Marcos Quilométricos: os marcos quilométricos consistem em colocar marcos de concreto a uma distância definida entre eles e atribuir um nome e/ou número de forma sequencial. O primeiro nome e/ou número atribuído é designado de ponto inicial e o último nome ou número a ser atribuído é denominado ponto final;
- b) Sistema de Nó de Ligação: alguns pontos na malha são

designados por nós e as secções entre estes nós são denominadas ligações. Normalmente estes nós são caracterizados por intersecções, fronteiras ou pontos onde o pavimento muda suas características como, por exemplo, a mudança no tipo de superfície;

- c) Sistemas de Informação Geográfica: os Sistemas de Informação Geográfica usam um sistema de coordenadas para definição da localização de cada elemento da rede, possibilitando a superposição de várias informações, quer sejam de níveis de tráfego, dos solos e ou da geomorfologia do local, etc.

Figura 3.3 - Referenciamento rodoviário (2004)



Fonte: Adaptado de Deighton e Blake (1994).

3.1.6 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) estão sendo bastante utilizados para o desenvolvimento de todos os processos

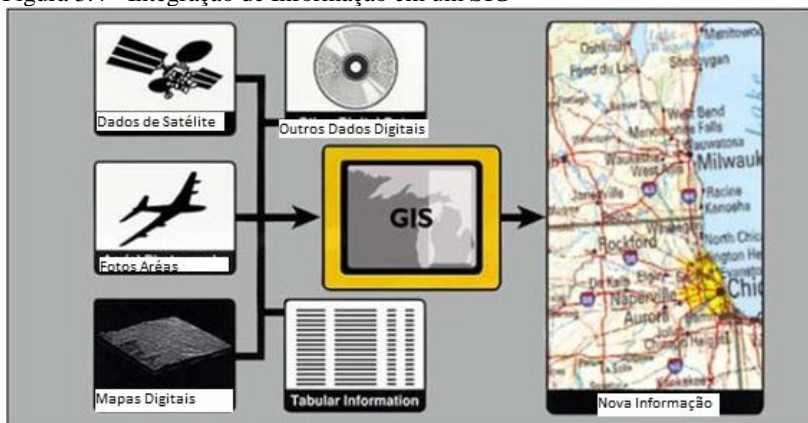
envolvidos num sistema de gerência de pavimentos, pois são ferramentas capazes de auxiliar e agilizar os procedimentos de planejamento, gerência e de apoio à decisão.

A apresentação geográfica de um SIG é uma interface que possibilita selecionar trechos de pavimentos para análises da informação em mapas, possibilitando a interpretação dos dados distribuídos no tempo e no espaço. Isto é um fator importante não só para os engenheiros responsáveis pela manutenção do pavimento, mas também para os responsáveis pela gerência de políticas e prioridades e na geração de documentos (SCHWARTS, 1991).

Um SIG pode ser definido como um sistema computacional capaz de receber, armazenar, analisar e demonstrar geograficamente informação referenciada, com dados identificados de acordo com a sua localização (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994). Sua principal característica reside na habilidade que eles possuem em relacionar diferentes informações num contexto espacial e encontrar uma relação num contexto global em conjunto com a rede rodoviária.

Informações digitais sobre um determinado contexto em uma rede rodoviária podem ser convertidas em SIG, conforme indicado na Figura 3.4.

Figura 3.4 - Integração de Informação em um SIG



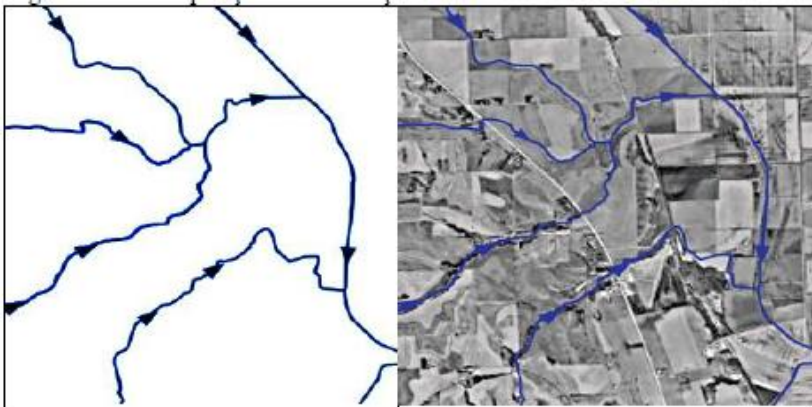
Fonte: Adaptado de USGS (2006).

A Figura 3.4 demonstra a capacidade que os SIGs têm de integrar diversos tipos de informação, reunindo um conjunto de informações em um só arquivo, por exemplo, a integração de mapas

topográficos, geológicos e através deles estudarem a possibilidade de implantar uma rodovia.

- a) A Figura 3.5 mostra a capacidade que um SIG tem de sobrepor as informações.

Figura 3.5 - Sobreposição de informações em um SIG



Fonte: Adaptado de USGS (2006).

Segundo o Departamento Americano de levantamento de Geologia (United States Geological Survey Department) (USGS, 2006) em um SIG destaca-se as seguintes vantagens:

- b) O Uso de camadas de mapas com informações diversas com intuito de formar um único mapa;
- c) Capacidade de gerar relatórios, gráficos e mapas sobre um determinado tipo de informação que ajudam os gerentes rodoviários a tomarem diversas decisões sobre os recursos disponíveis, possibilitando que os tomadores de decisão possam visualizar e entender os resultados das análises e simulações dos eventos potenciais;

O uso dos SIG possibilita uma maior parceria no interior de um órgão rodoviário, através de uma maior interação entre departamentos na disponibilização de informações mais coerentes sobre a rede rodoviária na qual está implantado.

3.2 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE PAVIMENTOS

Segundo Haas, Hudson e Zaniewski (1994), a avaliação de pavimentos é uma das principais tarefas de um Sistema de Gerência de Pavimentos, pois através dela se pode verificar se o pavimento necessita de manutenção, reconstrução, e se esta atendendo as especificações para as quais foi projetado.

Para Gonçalves (1999), avaliação de um pavimento compreende um conjunto de atividades destinadas à obtenção de dados, informações, parâmetros que permitam diagnosticar e interpretar o desempenho apresentado pelo pavimento, detectando as suas necessidades atuais e futuras de manutenção, e ainda prever as consequências da implementação de diferentes estratégias de manutenção.

Esta atividade engloba o estabelecimento do controle e/ou avaliação de seções, a verificação periódica das suas características atuais quanto à capacidade estrutural, deterioração, irregularidade e resistência à derrapagem.

Com base em autores como Haas e Hudson (1978), Keller (2006) e o Guia da AASHTO (AASHTO, 1993), os dados obtidos podem ser usados para:

- Verificar a adequação com que os pavimentos estão atendendo as suas funções;
- Determinar a condição atual da rede rodoviária;
- Elaborar curvas de previsão de desempenho através de uma série histórica de dados;
- Planejar e programar futuras reabilitações;
- Estabelecer prioridades na programação de investimentos sob uma condição de restrição orçamentária;
- Melhorar as tecnologias de projeto, construção e manutenção dos pavimentos através da determinação das causas da deterioração ao longo do ciclo de vida do pavimento.

Para o diagnóstico de um pavimento, quatro componentes são designados como principais: o conforto à rodagem, capacidade de suportar as cargas dinâmicas, segurança e conforto visual (estética). Em uma concepção geral, um bom pavimento sob o ponto de vista do usuário é aquele que tem boa superfície de rolamento, suporta cargas satisfatoriamente, garante uma aderência segura entre o pneu e o pavimento, tanto no rolamento quanto na frenagem e tem boa aparência.

A avaliação quanto às condições de segurança envolve a avaliação da resistência à derrapagem, mas pode incluir ainda a

ocorrência de trilha de roda, que afeta a condição da dirigibilidade, potencial de aquaplanagem e nas regiões de baixas temperaturas, o potencial de congelamento.

As avaliações funcionais atentam para o conforto ou a qualidade do rolamento. Estão relacionadas com a verificação de como a superfície do pavimento esta desempenhando a função de superfície de rolamento para o tráfego de veículos.

A avaliação estrutural está voltada para a verificação da capacidade de carga do pavimento avaliando a adequação estrutural dos pavimentos.

O entendimento da inter-relação entre as condições funcional estrutural e de segurança é vital para a compreensão de um Sistema de Gerência de Pavimentos.

Enquanto o nível de serventia indica a condição momentânea do pavimento, a avaliação estrutural pode ser usada para estimar a resposta futura do pavimento ao tráfego a que está sujeita. Esta relação reside no fato de que, uma baixa capacidade estrutural presente, pode causar uma rápida redução no nível de serventia, mesmo que o nível presente seja elevado.

3.3 AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS

A avaliação de superfície de um pavimento consiste do registro da extensão, frequência e severidade dos defeitos de superfície existentes. Estes segundo Gonçalves et al (1998) devem ser descritos quanto aos seguintes parâmetros:

- Tipo de defeito: Trincas, desgaste, exsudação de asfalto ou água, escorregamento de massa, erosão de bordo, bombeamento de finos, remendos e painéis. As trincas podem ser classificadas quanto a sua configuração geométrica, que se relaciona com o mecanismo que deu origem a mesma (couro-jacaré, interligadas em padrão irregular, longitudinais, transversais, e de bloco);
- Intensidade: Retrata o grau que o defeito afeta a estrutura do pavimento, ou compromete o seu desempenho;
- Gravidade: É a medida do grau de evolução do defeito. No caso de trincas, refere-se à sua abertura. É comum as metodologias não diferenciarem gravidade de intensidade, adotando um parâmetro único relacionado a ambas, denominado de severidade;

- Frequência: É a distribuição da ocorrência do defeito ao longo de um segmento ou trecho da rodovia, sendo expresso pela relação percentual entre o número de estacas onde ocorre o defeito e o número total de estacas existente dentro o segmento;
- Extensão: Ilustra a área ocupada pelo defeito em uma determinada amostra do pavimento. No caso de trincas, tem-se a percentagem de área trincada, como, por exemplo, desse parâmetro de medida.

Em virtude da necessidade de uniformização da coleta de dados, recomenda-se a adoção de um levantamento de defeitos como o utilizado no Programa Estratégico de Pesquisas Rodoviárias (SHRP).

O Manual do Programa de Pesquisa SHRP considera 15 tipos de defeitos em pavimentos flexíveis, identificando-os através de fotos e Figuras. Apresenta, para cada tipo de defeito, a descrição, os níveis de severidade e a forma de quantificação da extensão, conforme apresentado no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Identificação de defeitos nos pavimentos

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
1 TRINCAS POR FADIGA DO REVESTIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Áreas submetidas a cargas repetidas de tráfego Forma: "couro de crocodilo" ou "tela de galinheiro" Espaçamento inferior a 30 cm 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: poucas trincas conectadas, sem erosão nos bordos e sem evidência de bombeamento MÉDIA: trincas conectadas e bordos levemente erodidos, mas sem evidência de bombeamento ALTA: trincas erodidas nos bordos, movimentação dos blocos quando submetidos ao tráfego e com evidências de bombeamento 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar a área afetada (m^2) para cada nível de severidade.
2 TRINCAS EM BLOCOS	<ul style="list-style-type: none"> Trincas que dividem o pavimento em pedaços aproximadamente retangulares Tamanho dos blocos: 0,1 a 10 m^2 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar a área afetada (m^2) para cada nível de severidade.
3 TRINCAS NOS BORDOS	<ul style="list-style-type: none"> Apenas para pavimentos com acostamentos não pavimentados Dentro de uma faixa de 80 cm a partir da extremidade do pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: sem perda de material ou despedaçamento MÉDIA: perda de material e despedaçamento em até 10% da extensão afetada ALTA: perda de material e despedaçamento em mais de 10% da extensão afetada 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar a extensão afetada (m) para cada nível de severidade.
4 TRINCAS LONGITUDINAIS	<ul style="list-style-type: none"> Trincas predominantemente paralelas ao eixo, podendo se localizar dentro ou fora das trilhas de roda 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas com abertura média inferior a 19 mm mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar a extensão (m) das trincas longitudinais e os níveis de severidade correspondentes (nas trilhas de roda ou fora delas). Registrar a extensão com selante em boas condições.
5 TRINCAS POR REFLEXÃO	<ul style="list-style-type: none"> Reflexão de trincas ou juntas das camadas inferiores Recapamento ou pavimentos novos (contração da base) 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas com abertura média inferior a 19 mm mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar, em separado, as trincas transversais e longitudinais. Registrar o nº de trincas transversais. Registrar a extensão das trincas e os níveis de severidade. Registrar a extensão com selante em boas condições.
6 TRINCAS TRANSVERSAIS	<ul style="list-style-type: none"> Trincas predominantemente perpendiculares ao eixo Severidade de uma trinca: adotar a mais elevada, desde que represente pelo menos 10% da extensão 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas com abertura média inferior a 19 mm mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar o nº de trincas, a extensão e os níveis de severidade correspondentes. Registrar a extensão com selante em boas condições.
7 REMENDOS	<ul style="list-style-type: none"> Porção da superfície do pavimento, maior que 0,1 m^2, removida e substituída ou material aplicado ao pavimento após a construção inicial 	<ul style="list-style-type: none"> Função da severidade dos defeitos apresentados pelo remendo 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar o nº de remendos e a área afetada (m^2) para cada nível de severidade.

QBS:

1. Fotografar ou filmar defeito não considerado pelo Manual;
2. Mapear EXSUDAÇÃO, AGREGADOS POLIDOS e DESGASTE apenas se ocorrerem em áreas localizadas;
3. Caso contrário, registrar localização, extensão e nível de severidade no espaço destinado aos comentários, no Mapa de Localização dos Defeitos.

Fonte: Nascimento (2006).

Quadro 3.1: Identificação de defeitos nos pavimentos (continuação)

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
8 PANELAS	<ul style="list-style-type: none"> Buracos resultantes de desintegração localizada, sob a ação do tráfego e em presença de água Fragmentação, causada por trincas por fadiga ou desgaste, e remoção localizada de partes do revestimento 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: profundidade menor que 25 mm MÉDIA: profundidade entre 25 e 50 mm ALTA: profundidade maior que 50 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar o nº de painéis e a área afetada por cada nível de severidade.
9 DEFORMAÇÃO PERMANENTE	<ul style="list-style-type: none"> Depressão longitudinal nas trilhas de roda, em razão de densificação dos materiais ou ruptura por cisalhamento 	<ul style="list-style-type: none"> Substituídos pelas medições da deformação permanente a cada 15 m 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar a máxima deformação permanente nas trilhas de roda.
10 CORRUGAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Deformação plástica caracterizada pela formação de ondulações transversais na superfície do pavimento Causada por esforços tangenciais (frenagem ou aceleração) 	<ul style="list-style-type: none"> Associados aos efeitos sobre a qualidade do rolamento 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar o nº de ocorrências e a área afetada (m²).
11 EXSUDAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: mudança de coloração em relação ao restante do pavimento devido ao excesso de asfalto MÉDIA: perda de textura superficial ALTA: aparência brilhante; marcas de pneus evidentes em tempo quente; agregados cobertos pelo asfalto 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.
12 AGREGADOS POLIDOS	<ul style="list-style-type: none"> Polimento (desgaste) dos agregados e do ligante betuminoso e exposição dos agregados graúdos Comprometimento da segurança: redução do coeficiente de atrito pneu-pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> Níveis de polimento podem ser associados à redução no coeficiente de atrito pneu-pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar a área afetada (m²).
13 DESGASTE	<ul style="list-style-type: none"> Perda de adesividade do ligante betuminoso e desalojamento dos agregados Envelhecimento, endurecimento, oxidação, volatilização, intemperização 	<ul style="list-style-type: none"> BAIXA: início do desgaste, com perda de agregados miúdos MÉDIA: textura superficial torna-se áspera, com perda de agregados miúdos e de alguns graúdos ALTA: textura superficial muito áspera, com perda de agregados graúdos 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.
14 DESNÍVEL (DEGRAU) ENTRE PISTA E ACOSTAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Diferença de elevação entre a faixa de tráfego e o acostamento: camadas sucessivas de revestimento asfáltico; erosão de acostamento não pavimentado; consolidação diferencial 	<ul style="list-style-type: none"> Substituídos pelas medições do desnível 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar o desnível (mm) a cada 15 m, ao longo da interface pista-acostamento.
15 BOMBEAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> Saída de água pelas trincas do pavimento sob a ação das cargas do tráfego Identificado pela deposição à superfície, de material carreado das camadas inferiores 	<ul style="list-style-type: none"> Não aplicáveis porque o bombeamento depende do teor de umidade das camadas inferiores do pavimento 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar o nº de ocorrências e a extensão afetada (m²).

3.3.1 Avaliação Objetiva dos Pavimentos

No Brasil, de um modo geral, o estado de superfície dos pavimentos é avaliado em termos do Índice de Gravidade Global (IGG), definido como um parâmetro numérico que permite a avaliação de deterioração de segmentos rodoviários, cuja concepção, além de refletir o estado de cada segmento considerado isoladamente, permite a comparação relativa entre os estados apresentados por segmentos distintos (BALBO, 1997).

O cálculo do IGG é baseado na norma DNIT 006/2003 – PRO - Avaliação Objetiva de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos (DNIT, 2003), que estabelece uma metodologia para a quantificação numérica dos defeitos. A avaliação da superfície é feita por amostragem e o levantamento é feito a pé, registrando-se em uma planilha os tipos e o nível de severidade dos defeitos, sem avaliação da extensão.

Para o cálculo do IGG são consideradas dez ocorrências ou eventos distintos. Oito desses eventos representam tipos individuais de defeitos (trincas, afundamentos, corrugação, escorregamento, exsudação, desgaste, placas e remendos). Os outros dois são derivados da mensuração das flechas nas trilhas de roda (média e variância). Dessa forma, o valor do IGG reflete o efeito conjunto de uma ampla gama de deficiências estruturais sobre o estado da superfície do pavimento.

Cada evento, considerado isoladamente, corresponde a um valor específico chamado Índice de Gravidade Individual (IGI), estabelecido em função do peso ou “nível de responsabilidade” de cada evento. Logo, para cada defeito é conferido um fator de ponderação.

De acordo com a norma DNER-PRO 06/2003 (DNIT, 2003), o IGG é calculado através das Equações 3.1, 3.2 e 3.3, cujas variáveis n , f_p , IGI , IGG , f_a e f_r são, respectivamente, o número de estações inventariadas, o fator de ponderação, o Índice de Gravidade Individual, o Índice de Gravidade Global, a frequência absoluta (número de vezes em que a ocorrência é verificada) e a frequência relativa (número de vezes em que a ocorrência é verificada em relação ao número total de estações).

$$f_r = \frac{100 \times f_a}{n} \quad 3.1$$

Onde:

$$IGI = f_r \times f_p \quad 3.2$$

Onde:

$$IGG = \sum IGI$$

3.3

Com a finalidade de conferir ao pavimento um conceito que retrate o grau de degradação verificado, o DNIT estabeleceu a correspondência indicada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Intervalos de condição de pavimentos em função do IGG

IGG	Conceito
0-20	Excelente
20-40	Bom
40-80	Regular
80-150	Ruim
>150	Péssimo

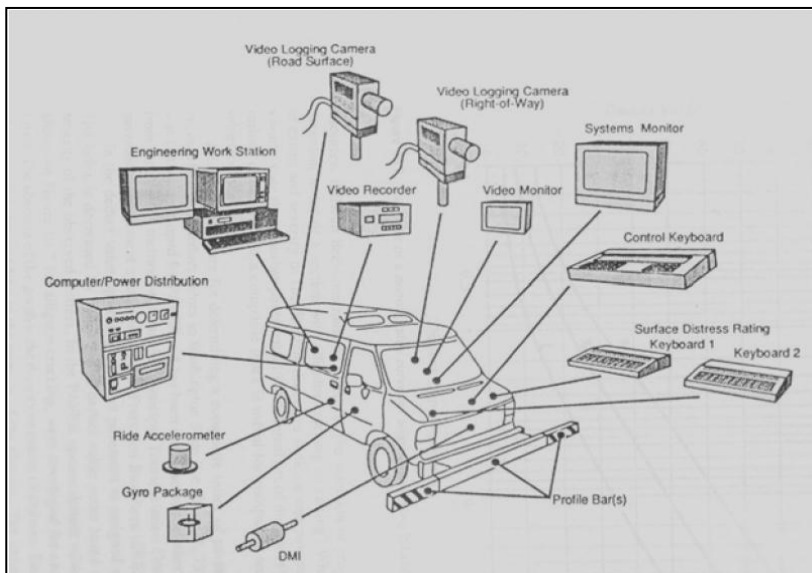
Fonte: DNIT (2006).

3.3.2 Equipamentos de Avaliação de Superfície

Procedimentos manuais para levantamento de campo podem ser relativamente lentos, não uniformes e passíveis de erros de transcrição, particularmente para grandes redes rodoviárias. Em função disso, têm sido desenvolvidos veículos que fotografam ou filmam os pavimentos, para posterior análise em escritório.

Os veículos de última geração não apenas registram as imagens do pavimento, como também permitem a classificação e quantificação dos tipos de defeitos com base em um gabarito pré-estabelecido, eliminando a subjetividade. Dentre os equipamentos existentes, Haas, Hudson e Zaniewski (1994) destacam o sistema ARAN conforme a Figura 3.6, que filma a superfície e registra os defeitos utilizando dois teclados (dois avaliadores por seção).

Figura 3.6 - Analisador automático da superfície do pavimento (ARAN)



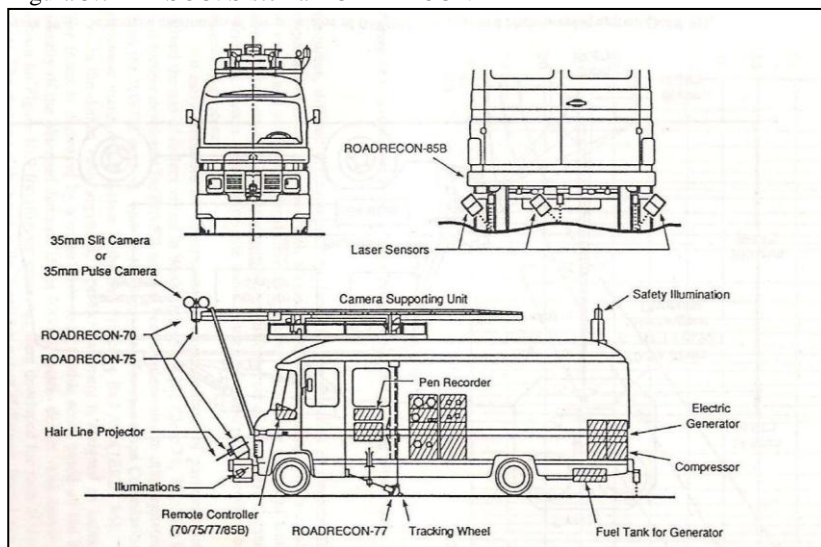
Legenda:

1. *Engineering Work Station*: Estação de análises de engenharia
2. *Video Logging Camera (Road Surface)*: Câmera de Vídeo (Superfície da Rodovia)
3. *Video Logging Camera (Right-of-way)*: Câmera de Vídeo (Faixa de Domínio)
4. *Video Recorder*: Gravador de Vídeo
5. *Systems Monitor*: Monitor de Sistemas
6. *Control Keyboard*: Teclado de controlo
7. *Surface Distress Rating Keyboard*: Teclado para avaliação superficial
8. *Profile Bar*: Perfilógrafo de Barra
9. *Gyro Package*: Pacote Gyro
10. *Ride Accelerometer*: Acelerômetro
11. *Computer/Power Distribution*: Computador/Distribuidor de energia

Fonte: Haas, Hudson e Zaniewski (1994).

Haas, Hudson e Zaniewski (1994) destacam também o Sistema Roadrecon, conforme descrito na Figura 3.7 desenvolvido pela PASCO. Este sistema produz fotografias em sequência, recolhendo informações da superfície do pavimento e complementando com a medição da irregularidade longitudinal.

Figura 3.7 - PASCO: Sistema ROADRECON



Legenda:

1. *Laser Sensors*: Sensores Laser
2. *Camera Supporting Unit*: Unidade de Suporte de Câmera
3. *Safety Illumination*: Iluminação de Segurança
4. *Electric Generator*: Gerador de Energia
5. *Compressor*: Compressor
6. *Fuel Tank for Generator*: Tanque de gasolina para o Gerador
7. *Tracking Wheel*: Roda captadora de informação
8. *Remote Controller*: Controle Remoto
9. *Illuminations*: Iluminação
10. *Hair Line Projector*: Projetor de ar

Fonte: Haas, Hudson e Zaniewski (1994).

Todos os equipamentos são transportados em um veículo que carrega um sistema de aquisição de dados computadorizado e instrumentos para avaliar a irregularidade longitudinal (acelerômetros), a deformação permanente nas trilhas de roda (barra com sensores a laser para obtenção do perfil transversal), a condição da faixa de domínio (câmera de vídeo), as rampas e curvas horizontais (giroscópio) e as distâncias percorridas (odômetro).

3.3.3 Avaliação Funcional

A avaliação objetiva da superfície consiste no levantamento de

aspectos que afetam diretamente o usuário da rodovia, caracterizado pelo Índice de Irregularidade Internacional (IRI). O índice de irregularidade é o indicador mais comum do estado de conservação da rodovia e estabelece uma correlação entre os defeitos observados no pavimento e o desconforto e as dificuldades criadas à circulação de veículos.

Segundo o DNIT (2006), a avaliação da irregularidade longitudinal consiste no levantamento dos desvios existentes na superfície do pavimento.

De acordo com Balbo (1997) a irregularidade de um pavimento pode ser entendida como o conjunto de desvios que a superfície original do pavimento sofre ao longo do seu tempo de serviço. Com o surgimento de defeitos oriundos da ação do tráfego e influências ambientais, como por exemplo, afundamentos plásticos e de consolidação de trilhas de roda, buracos, depressões, etc. Estes desvios tendem a se agravar provocando perda da serventia do pavimento.

O DNER ES 173/86 (DNER, 1986) refere-se a uma especificação técnica que contém o procedimento a ser aplicado no levantamento de irregularidade de trechos de rodovias através do método nível e mira, visando à calibração de sistemas medidores do tipo resposta. O procedimento contido nesta especificação pode ser usado na medição periódica de irregularidade em trechos experimentais de pavimentos. Para medir a irregularidade do pavimento utiliza-se quociente de irregularidade (QI) expresso em contagens por quilômetro.

As normas DNER PRO 164/94 – Calibração e Controle de Sistemas Medidores de Irregularidade da Superfície do Pavimento e DNER PRO 182/94 – Medição de Irregularidade de Superfície de Pavimento com Sistemas Integradores IPR/USP (DNER, 1994a) e DNER PRO 182/94 – Medição de Irregularidade de Superfície de Pavimento com Sistemas Integradores IPR/USP (DNER, 1994b), juntamente com a norma DNER-ES 173/86 permitem a avaliação e calibração de equipamentos medidores de irregularidade superficial.

Segundo o DNIT (2006), o IRI é definido matematicamente a partir de um perfil levantado por nível e mira (ou equipamento similar), nas trilhas de roda, visando simular os movimentos verticais induzidos no deslocamento de um quarto-de-carro. O índice é expresso pela relação entre os movimentos acumulados da suspensão do veículo e a distância percorrida pelo veículo e, geralmente, a unidade de medida do IRI é m/km.

A escala padrão adotada no Brasil é o Quociente de Irregularidade (QI) e a este foi estabelecido uma correlação apresentada pela Equação 3.4.

Onde:

$$QI = 13x IRI$$

3.4

A esta relação se verifica que para estradas pavimentadas os valores de IRI variam de 1,0 m/km para estradas em ótimo estado, a valores superiores de 6,0 m/km para estradas em estado péssimo. No que se refere às estradas não pavimentadas, os valores estão compreendidos entre 3,0 m/km para estradas em bom estado e até valores acima de 15,0 m/km para estradas em péssimo estado. A Tabela 3.2 apresenta a condição do pavimento em função da irregularidade.

Tabela 3.2 - Condição do pavimento quanto à irregularidade (Rodovias Pavimentadas)

CONDIÇÃO	IRI (M/KM)	QI (CONT./KM)
Excelente	0,0 – 1,9	13 – 25
Bom	1,9 – 2,7	25 – 35
Regular	2,7 – 3,5	35 – 45
Ruim	3,5 – 4,6	45 – 60
Péssimo	>4,6	> 60

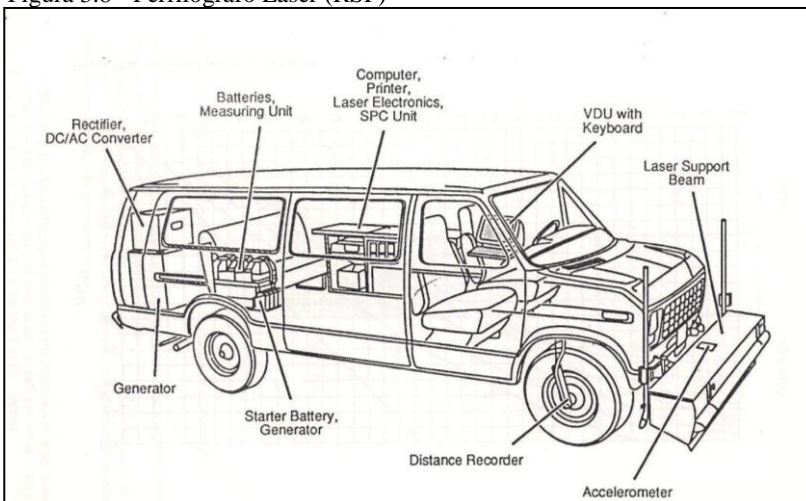
Fonte DNIT (2006).

3.3.4 Equipamentos de Avaliação Funcional

Equipamentos que capturam informação através de filme e vídeo apresentam imagens da superfície do pavimento de forma rápida em escritórios dos órgãos rodoviários, diminuindo os custos com levantamentos topográficos, tornando-se dados permanentes e sempre disponíveis (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994).

Hudson e Haas (1978) destacam o perfilógrafo a laser de coleta de informação, o Road Surface Profiler (RSP), desenvolvido pelo Instituto Suéco de Pesquisa de Tráfego. Este dispositivo usa a tecnologia laser para medir o perfil longitudinal, a macrotextura conforme a Figura 3.8.

Figura 3.8 - Perfilógrafo Laser (RSP)



Legenda:

1. *Rectifier DC/AC Converter*: Retificador DC/AC Conversor
2. *Batteries Measuring Unit*: Unidade Medidora de Bateria
3. *Computer Printer, Laser Electronics SPC Unit*: Computador, impressora, Unidade medidora de Laser e eletrônica
4. *VDU with Keyboard*: VDU com teclado
5. *Laser Supporting Beam*: Viga de suporte do Laser
6. *Distance Recorder*: Gravador da Distância percorrida
7. *Starter Battery Generator*: Bateria Inicial do Gerador de Energia
8. *Generator*: Gerador de Energia

Fonte: Haas, Hudson e Zaniewski (1994).

O perfilógrafo a laser recorre ao uso de sensores laser e acelerômetro, localizados numa viga no para-choque da viatura que permite registrar a rugosidade no eixo da roda em circulação, em termos de IRI em metros por quilometro (m/km).

O perfilógrafo a laser possui como principais componentes:

- Suporte do Laser e Acelerômetro: Corresponde à viga na qual está localizado o laser e os acelerômetros.
- Teclado de controle: No qual se ativa e se maneja a leitura do laser;
- Computador, equipamentos laser e processadores: No qual se processa a informação registrada pelo laser para obter os resultados de rugosidade;
- Baterias da unidade de medição;
- Retificador, Conversor DC/AC;

- Gerador;
- Bateria alimentadora do gerador;
- Leitor de distância do odômetro ou DMI;
- A medição da rugosidade (IRI) é obtida pela soma integrada das medições dos sete sensores localizados em uma viga transversal montada na frente do veículo

3.4 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS

A condição estrutural de um pavimento denota a sua adequação ou capacidade de resistir à deterioração provocada pela passagem das cargas de tráfego. Assim, de acordo com Gonçalves (1999), um retrato completo da condição estrutural de um pavimento deve ser composto pelos seguintes elementos:

- Parâmetros que descrevam a deformabilidade elástica ou visco elástico dos materiais das camadas sob condições de solicitação impostas pelas cargas transientes dos veículos. São utilizados para calcular as tensões e deformações induzidas pelas cargas do tráfego na estrutura do pavimento;
- Parâmetros que descrevam a resistência dos materiais ao acúmulo de deformações plásticas sob cargas repetidas, os quais são função da natureza do material, de sua condição (densidade, umidade) e do histórico de solicitações;
- Integridade das camadas asfálticas e cimentadas, expressas pelo grau de fissuramento.

Uma condição estrutural inadequada ou insuficiente para o tráfego atuante acelerará a geração de defeitos de superfície (trincas de fadiga nas camadas asfálticas e cimentadas), bem como a queda do nível de serventia com o tempo (em decorrência da geração de afundamentos plásticos em trilha de roda e ondulações) (HAAS; HUDSON, 1978). Ao mesmo tempo, a existência de trincas no revestimento permite a entrada de águas pluviais gerando o bombeamento de finos e o enfraquecimento do solo do subleito, diminuindo a condição estrutural do pavimento, acelerando a queda do nível de serventia através da deterioração do pavimento (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994).

Segundo SENÇO (2006) as avaliações estruturais podem ser descritas de duas formas:

- Avaliação Destrutiva: Consiste da abertura de furos de sondagem para identificação da natureza e espessuras das camadas do pavimento, bem como abertura de poços de

sondagem para coleta de amostras dos materiais ensaiados em laboratório. Por exemplo, ensaios como CBR e determinações de umidade e densidade;

- Avaliação não Destrutiva: Consiste na realização de provas de carga para medida de parâmetros de resposta da estrutura às cargas de roda em movimento, originando deslocamentos verticais dos pavimentos.

A ação de cargas provenientes do tráfego sobre os pavimentos flexíveis provoca deformações verticais permanentes e recuperáveis. As deformações permanentes são aquelas que permanecem mesmo depois de cessar os efeitos da atuação da carga dinâmica, como por exemplo, os afundamentos plásticos que ocorrem nas trilhas de roda. As deformações verticais recuperáveis caracterizam o comportamento elástico da estrutura, deixando de existir alguns momentos após a retirada da carga.

Portanto, avaliação estrutural indica a velocidade com que o pavimento está se deteriorando, ou seja, a velocidade com que os defeitos e deformações estão surgindo e aumentando a sua severidade.

As magnitudes destas deformações são variáveis e dependem da geometria do carregamento, do valor da carga, da pressão do pneu e da posição do ponto de medida em relação à posição da carga.

3.4.1 Parâmetros da Avaliação Estrutural

- 1 Deflexão Máxima Recuperável (D_0) é um parâmetro para a compreensão do comportamento da estrutura. Quanto maior for o seu valor, mais elástica ou resiliente é a estrutura e pior o seu comportamento estrutural. Segundo a DNER - PRO 011/79 (DNER, 1979) para determinação de deflexões de projeto é necessária à determinação do fator de correção sazonal (FS) e da deflexão característica (D_c), obtida pela análise estatística conforme item 4.2.7.
- 2 Módulo resiliente: é o parâmetro que representa a energia de deformação máxima que um pavimento pode absorver sem sofrer deformações permanentes. É avaliado através da relação entre a tensão deviatória axial repetida e a deformação axial recuperável. Segundo o guia da AASHTO (1993), o Módulo resiliente MR conforme a Equação 3.5.

$$MR = \frac{0.24 \times P}{D_{60} \times R}$$

3.5

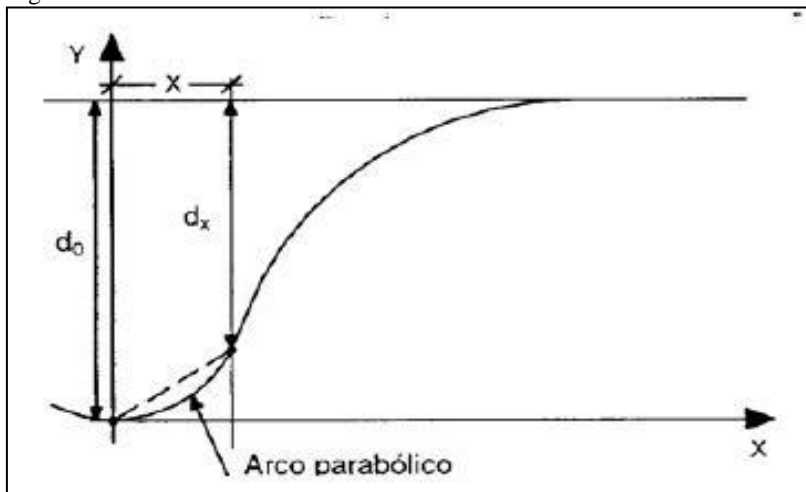
Onde:

- P: Carga aplicada em KN
- D_{60} : Deflexão medida a 60 cm;
- R: Distância radial (raio de curvatura) onde a deflexão foi medida.

- 3 O Raio de Curvatura: é um parâmetro indicativo do arqueamento da deformada na sua porção mais crítica, em geral a 25 cm do centro da carga. Em termos de diagnóstico das condições estruturais de um pavimento, quanto maior o valor do raio de curvatura melhor será o comportamento estrutural do pavimento. A Figura 3.9 mostra o arco parabólico de uma bacia de deflexão. O raio de curvatura é calculado pela fórmula (DNER, 1994):

$$R = \frac{6.250}{2 (D_0 - D_{25})}$$

Figura 3.9 - Raio de Curvatura



Fonte: DNER (1994).

3.4.2 Equipamentos para Avaliação Estrutural

O uso de análises defletométricas de pavimentos auxilia a verificação estrutural do conjunto de camadas que compõem o

pavimento, medindo para tal fim, o deslocamento vertical que ocorre na superfície de um pavimento quando este está sujeito a uma carga dinâmica.

Segundo Haas, Hudson e Zaniewski (1994) existem três tipos de equipamentos para medição de deflexões, descritos a seguir:

- Estáticos: que medem a reposta do pavimento para uma carga estática ou a uma aplicação de uma carga em movimento lento (exemplo à viga Benkelman; a viga para medição automatiza de deflexão);
- Vibratórios: Que medem a resposta do pavimento a uma carga vibratória cíclica (exemplo: Dynaflect, Road Meter);
- Equipamentos de Impulso: Equipamentos cujo carregamento se realiza pela queda de uma massa conhecida por uma conhecida distância, medindo se o a resposta do pavimento (exemplo: FWD).

Os métodos do DNER – ME 024/94 (DNER, 1994 - Determinação das Deflexões no Pavimento pela viga Benkelman) e o DNER – PRO 273/96 (DNER, 1996 - Determinação de Deflexão Utilizando defletômetro de Impacto tipo “Falling Weight Deflectometer (FWD)” possibilitam a obtenção de parâmetros defletométricos capazes de serem usados na avaliação estrutural de pavimentos.

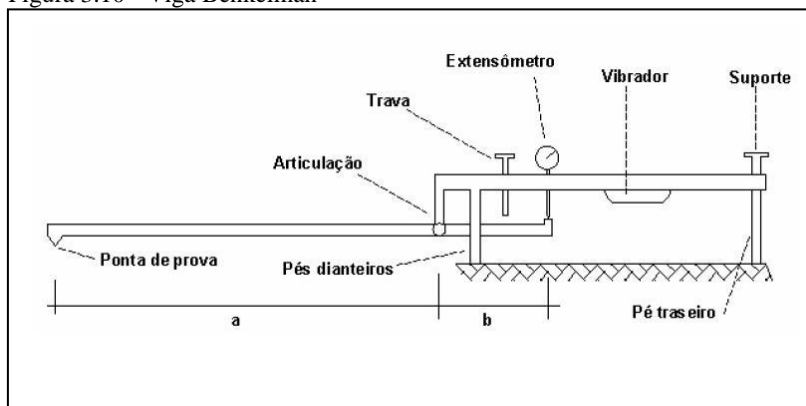
A descrição realizada nas próximas seções possibilita apresentação de alguns equipamentos utilizados na obtenção de medidas defletométricas.

3.4.2.1 Viga Benkelman

As medidas defletométricas dos pavimentos podem ser realizadas pela viga Benkelman que é um equipamento de medição estático, segundo as disposições normativas do DNER. A Figura 3.10 apresenta os seus principais componentes.

De acordo com a DNER – ME 24/94 (DNER, 1994), a viga Benkelman deve ser usada para medir o valor das deflexões recuperáveis do pavimento quando a carga estática gerada por um eixo padrão é retirada. A ponta de prova da viga deve ficar posicionada entre as rodas duplas do eixo traseiro de 8,2 toneladas (eixo padrão) e sobre a trilha de roda externa.

Figura 3.10 - Viga Benkelman



Fonte: DNER (1994).

A deflexão do pavimento é obtida por meio da Equação 3.6:

$$D_0 = (L_0 - l_F) a / b \quad 3.6$$

Onde:

- D_0 : Deflexão medida;
- L_0 : Leitura inicial;
- l_F : Leitura final
- Variáveis “a” e “b”: Dimensões da viga Benkelman.

3.4.2.2 Falling Weight Deflectometer (FWD)

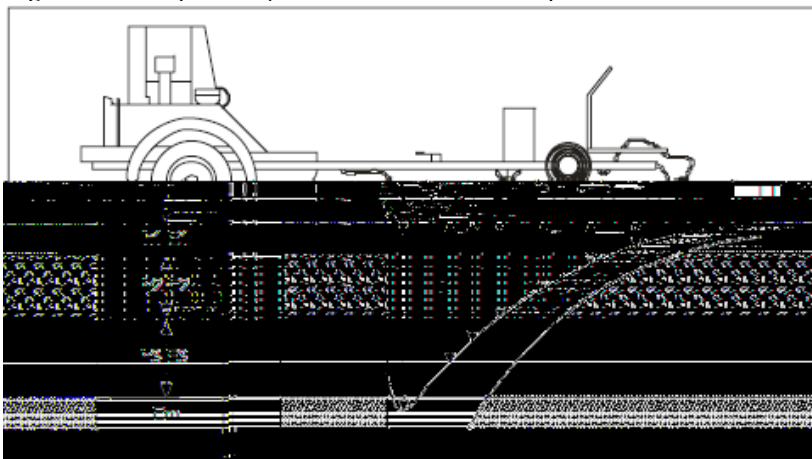
Os defletômetros de impacto tipo FWD têm tido grande aceitação nas avaliações estruturais de pavimentos asfálticos e de concreto, em pistas de aeroportos e rodovias devido à sua versatilidade, rapidez, alta precisão e grande produtividade.

O Falling Weight Deflectometer é um dispositivo de medição de deflexões por impacto. Segundo as dispositivas normativas DNER – PRO 273/96 (DNER, 1996), as deflexões são obtidas pela queda de um conjunto de massas, a partir de alturas pré-fixadas, sobre um sistema de amortecedores de borracha que transmitem a força aplicada a uma placa circular apoiada sobre o pavimento. Os deslocamentos recuperáveis gerados na superfície do pavimento (bacias de deflexão são medidas por sensores instalados ao longo de uma barra metálica).

Segundo Preussler e Suzuki (2005), o FWD é um equipamento projetado para simular no pavimento o efeito produzido por uma carga de roda em movimento. Permite a medida e o registro automático das bacias de deformações geradas por diferentes níveis de cargas, temperatura do ar e da superfície do pavimento e ainda as distâncias entre pontos de medição.

O equipamento é uma unidade, com um conjunto modular de pesos de até 350 kg, capaz de produzir pulsos de carga variando de 700 a 12250 kgf (pico), essencialmente de forma semi-senoidal, com duração de 25 a 30 milissegundos, o que corresponde à velocidade de uma roda de 60 a 80 km/h, sendo composto ainda por célula de carga, instalada sobre a placa circular de carregamento (diâmetro de 30 cm), que mede a carga aplicada; sete defletores sísmicos (geofones), montados alinhadamente sobre uma barra elevadiça de 225cm comprimento máximo, que medem a bacia de deflexão. A Figura 3.11 apresenta um diagrama da disposição de um FWD.

Figura 3.11 – Representação dos defletômetros de impacto



Fonte: DNIT (2006).

A força de pico é a carga teórica ou nominal aplicada ao pavimento por meio da placa de carga e calculada através da energia potencial. O valor da carga real aplicada ao pavimento é registrado automaticamente pela célula de carga, e é função não somente da massa e da altura de queda, mas também da rigidez e temperatura do pavimento. Quanto mais rígido o pavimento, maior a carga real, para

uma dada massa e altura de queda. O pico das deflexões apresenta uma defasagem em relação à carga, sendo maior quanto mais afastado estiver o medidor de deslocamento.

As deflexões são obtidas por até sete transdutores de velocidade, sendo um sob o centro da placa e os outros, em posições variáveis, adaptados a uma barra elevadiça de até 4,5m de comprimento.

Esses transdutores de velocidade são os geofones, no caso do equipamento da Dynatest e LVDT ou sismómetros (Linear Variante Diferencial Transformar), no caso do modelo KUAB e PRIMA 100 (PFWD). O Manual SHRP-LTPP (SHRP, 1989) recomenda as distâncias: 0, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 cm entre os sensores, tanto para pavimentos flexíveis, como para pavimentos rígidos. Segundo o Manual SHRP (1996), a escolha mais acertada para o posicionamento dos sensores deve ser função da rigidez e das espessuras das camadas do pavimento que será avaliado, visto que pode influenciar os resultados obtidos na retroanálise para os módulos de elasticidade dos materiais.

Em pavimentos flexíveis espessos, o último sensor deve ficar mais afastado do ponto de aplicação da carga, a fim de possibilitar o registro das deflexões provocadas pelo subleito.

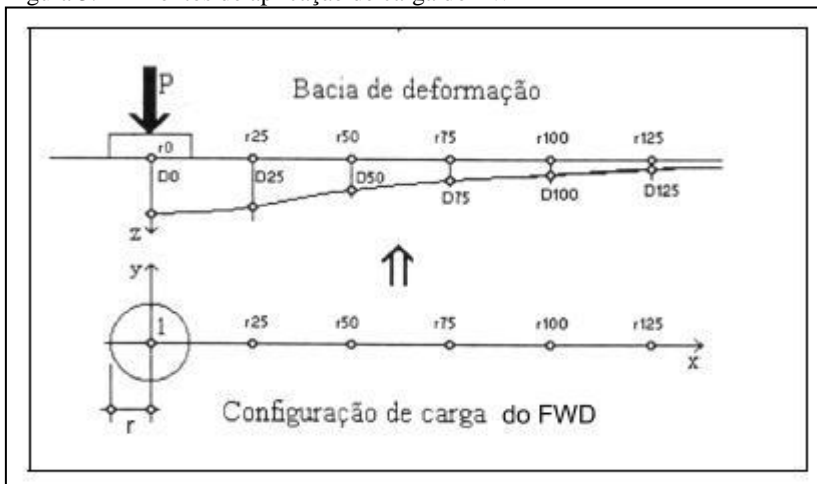
O FWD permite que se aplique diferentes níveis de carregamento em uma mesma estação de ensaio, através da combinação entre os seguintes componentes: altura de queda, massa do peso que cai e sistema de amortecedores selecionado.

Quanto ao sistema de carregamento, pode-se encontrar modelos com um sistema de geração de carga de duas massas ou de um único conjunto de massa e sistema amortecedor. O carregamento gerado por duas massas é aplicado ao pavimento por um conjunto de pesos, correspondente a primeira-massa, que cai sobre o conjunto segunda-massa e amortecedor, que aplica um pulso de carga ao pavimento ao atingir a placa de carga. A Figura 3.12 apresenta a configuração de carga e os pontos de avaliação do FWD.

Os geofones ou LVDT e as células de carga são ligadas a um computador por um cabo de sinais múltiplos e sofisticado processador de sinais.

Segundo Smith (1980), o pulso de carga gerado pelo sistema duas massas é mais suave e semelhante ao pulso de carga aplicado ao pavimento pelas cargas de roda dos veículos em movimento, além deste sistema não sofrer as distorções de frequência comuns nos sistemas de uma massa.

Figura 3.12 - Pontos de aplicação de carga do FWD



Fonte: Adaptado de Haas, Hudson e Zaniewski (1994).

A distorção ocorrendo antes do pico de carga principal, fornece uma carga de pico não compatível com as deflexões obtidas nos sensores mais afastados da carga.

3.4.2.3 Portable Falling Weight Deflectometer (PFWD)

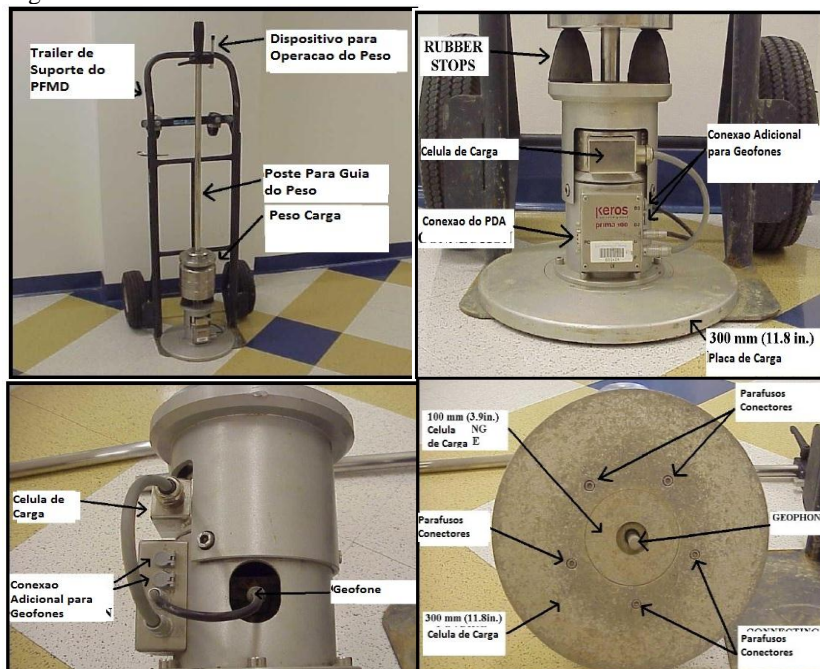
O Portable Falling Weight Deflectometer é também um dispositivo de medição de deflexões em pavimentos. Foi desenvolvido para poder estimar a capacidade de rigidez das camadas constituintes da estrutura de um pavimento incluindo a base e sub-base. Este dispositivo, da mesma forma que o FWD, provoca uma onda de choque não destrutiva entre as camadas resultantes do impacto da queda de um peso, gerando deflexões na camada de superfície.

O primeiro modelo a ser desenvolvido e o mais conhecido de todos é o Prima 100 fabricado pela Keros Technology empresa de consultoria Dinamarquesa. Este modelo é bastante versátil dando maior flexibilidade as cargas aplicadas às camadas e a altura de queda do peso de impacto, sendo que as massas usadas para o impacto variam de 10,15 e 20 kg e as alturas variam de 10 a 850 mm (0,4 a 33,5 polegadas). Três diferentes células de cargas podem ser usadas com afastamento de 100, 200 e 300 mm. Possui ainda uma carga de impulso entre 15 a 20 ms.

O Prima 100 usa ainda dois tipos de sensores: uma célula de

carga para medir o impacto e três geofones que medem a velocidade da superfície de onde a deflexão é determinada. Desta forma a reação do solo em relação às ondas de choque causadas pelo impacto. As células de cargas e os geofones estão mostrados na Figura 3.13.

Figura 3.13 - Keros PRIMA 100



Fonte: Steinert; Humphrey; Kestler (2005).

O Prima 100 PFWD grava os valores da pressão, deflexão e o tempo de forma automática com a ajuda de um “Assistente Digital Pessoal” (PDA). Baseado nestas medidas o *software* calcula o módulo de elasticidade de acordo com a Equação 3.7.

$$E_p = \frac{f(1-v^2) \times \sigma_0 \times a}{D_0} \quad 3.7$$

Onde:

- E_p : Modulo de Elasticidade;
- v : Coeficiente de Poisson;

- σ_0 Carga aplicada na superfície em (Kpa);
- D_0 : Deflexão;
- R : Raio do centro;
- $D_0(r)$: Deflexão no ponto do raio.
- f : fator que depende da distribuição da tensão

Onde:

$f = 2$ (uniforme)

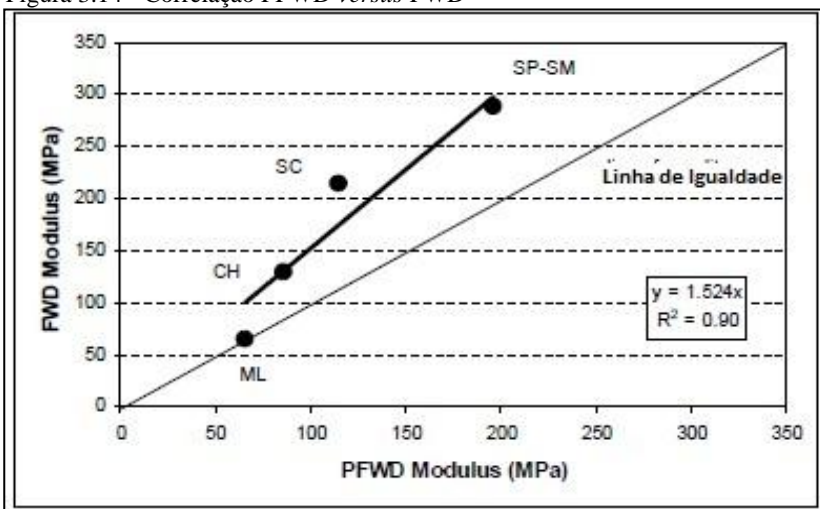
$f = \pi/2$ (placa rígida)

$f = 8/3$ (material granular)

$f = 4/3$ (material coesivo)

Com o intuito de tentar obter uma forma alternativa de desenvolver técnicas que permitissem projetar pistas de pouso e rodovias militares de acesso de forma mais rápida do que se basearem em dados de CBR e deflexões através do FWD por estes não apresentarem agilidade para efetuar as medições, Philips e Freeman (2000) determinaram através de análises estatísticas de retroalimentação a seguinte correlação linear com o coeficiente de determinação $R^2=0.90$ para uma equação de regressão $y=1.524x$. Conforme a Figura 3.14.

Figura 3.14 - Correlação PFWD versus FWD



Fonte: Philips; Freeman (2000).

3.4.3 Avaliação de Tráfego

O número e o tipo de veículos têm também uma grande influência nas rodovias e é por isso que os volumes e a composição do tráfego são elementos importantes para caracterizar uma rede rodoviária.

Os dados de tráfego num sistema de gerência de pavimentos são necessários para prever o desempenho e a escolha de prioridades durante a seleção de projetos de reabilitação, pois na seleção de projetos é necessária a medição de volumes de tráfego e o tráfego médio diário anual (TMDA) em percentagem de veículos o número e tipo de caminhões são os parâmetros mais comuns para caracterização do tráfego em um determinado trecho.

O conhecimento dos fluxos de tráfego permite caracterizar as demandas atuais e futuras pelos diversos segmentos da rede. Desta forma, deve-se prever com segurança a quantidade e a composição dos fluxos que irão circular na malha durante um horizonte considerado (DNER, 2000).

Não obstante tais informações serem fundamentais ao planejamento dos transportes como um todo, elas também são necessárias ao dimensionamento estrutural dos pavimentos e de suas seções transversais, bem como à classificação técnica e funcional das rodovias. Além disso, permitem avaliar a oportunidade dos investimentos a serem realizados, bem como estabelecer as políticas de manutenção da malha e até mesmo de concessões de parte da rede à iniciativa privada (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994).

3.4.3.1 Constituição da frota de Veículos

A frota de veículos que circula em uma rede rodoviária é constituída, basicamente, por veículos leves, ônibus, caminhões leves, caminhões médios e pesados, semirreboques e reboques.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), os veículos leves englobam os automóveis de várias dimensões e modelos e caminhonetes de dois eixos com rodas traseiras simples. Os ônibus, veículos de dois eixos com eixo traseiro de rodas traseiras duplas ou de três eixos com os dois eixos traseiros em tandem duplo ou com um eixo de rodas duplas e outro eixo dianteiro com rodas simples. Os caminhões leves são veículos de capacidade de carga de até 4t possuem dois eixos, sendo o eixo traseiro constituído por rodas duplas. Os caminhões médios são veículos com capacidade de

carga de até 10 t são constituídos por dois eixos sendo que o eixo traseiro possui rodas duplas. Os caminhões pesados são constituídos por três ou quatro eixos sendo os eixos traseiros em tandem duplo ou triplo, podendo transportar até 30t de carga. Dos semirreboques existem vários modelos, porém, todos são, basicamente, constituídos por uma carreta que é engatada e rebocada por um cavalo mecânico. Existem modelos de três a seis eixos com capacidade de carga que varia de 26t a 53t. Os reboques são veículos constituídos por caminhões do tipo pesado que rebocam uma carreta de dois ou três eixos. Possuem capacidade de carga que varia de 36t a 50t. Além destes, existem os denominados “rodotrens”, também conhecidos como “treminhões” que são comboios constituídos por carretas rebocadas por um simples cavalo mecânico, por um caminhão pesado ou por um semirreboque, apresentando composições que variam de cinco a nove eixos, podendo transportar até 73t de carga.

3.4.3.2 Caracterização dos volumes de tráfego

Para a definição dos volumes de tráfego que atuam na rede são realizadas análises das séries históricas e consultas a estudos e projetos anteriormente elaborados. Na definição do tráfego futuro se leva em conta às contagens atuais definidas por levantamentos já realizados, e a sua projeção para o futuro é estimada com base nas taxas de crescimento. As taxas de crescimento são avaliadas por intermédio das séries históricas existentes, em conjunto com dados socioeconômicos, e as variações sazonais (SENÇO, 2006).

Os dados colhidos são organizados em tabelas com as séries históricas obtidas, na qual devem constar:

- Ano da coleta;
- km de localização dos postos de contagem;
- Volume Médio Diário Anual de tráfego (VMD);
- Composição média anual da frota circulante.

A composição do VMD que corresponde ao tráfego passado, presente e futuro da rodovia e a taxa de crescimento correspondente ao período da análise, é realizado mediante uma regressão linear de modo a permitir não só o cálculo ano a ano, mas desde a entrada em serviço da rodovia (SENÇO, 2006). As rodovias de uma rede podem ser classificadas em função do volume médio diário anual do tráfego e o percentual de tráfego pesado. A Tabela 3.3 apresenta um exemplo da distribuição da rede pelas diversas categorias de rodovia e classes de

tráfego.

Tabela 3.3 - Distribuição da rede pavimentada conservada pelo DEINFRA/SC por classes de tráfego e categoria de rodovia

Categoria de Rodovia	Classe de Tráfego	TMDA (Veículos por dia)	% Tráfego Pesado	Extensão (Km)	% do Total
I	T ₅	T ≥ 5.000	≥ 30	136,89	4,6
	T ₄	3.000 ≤ T < 5.000		186,97	6,3
	T ₃ ⁺	1.500 ≤ T < 3.000		433,02	14,7
II	T ₃ ⁻	1.500 ≤ T < 3.000	< 30	305,13	10,4
	T ₂ ⁺	750 ≤ T < 1.500	≥ 30	609,39	20,7
III	T ₂ ⁻	750 ≤ T < 1.500	< 30	693,64	23,5
	T ₁	200 ≤ T < 750		582,08	19,8
	T ₀	T < 200		0,0	0,0
Fonte: DEINFRA (1994). Total				2947,12	100,0

3.4.3.3 Caracterização das cargas de veículos

Para a avaliação do efeito do tráfego é necessário conhecer as cargas por eixo com as quais os veículos solicitam a estrutura do pavimento. Para a composição do tráfego são verificadas as campanhas de pesagens realizadas em cada trecho pertencente à rede, ou em trecho com comportamento de tráfego similar, de forma a estimar o perfil de carregamento dos tipos de veículos componentes da frota (DNIT, 2006).

Os procedimentos de pesagem existentes são variados, como por exemplo, as balanças portáteis e sistemas automáticos de pesagem que permitem pesagem contínua por longos períodos (SENÇO, 2006).

Estes dados coletados são organizados em Tabelas onde se constata a distribuição por cargas e pelo número de veículos passantes em cada trecho onde estão instaladas as estações de contagem.

Na conversão do tráfego misto num equivalente de operações de um eixo considerado padrão será efetuado aplicação dos chamados fatores de equivalência de cargas. Estes permitem converter uma aplicação de um eixo solicitado por uma determinada carga em número de aplicações de eixo padrão (8,2 ton.) que deverá produzir um efeito equivalente.

Os fatores de equivalência se baseiam na perda de serventia e variam com o tipo do pavimento (flexível e rígido), índice de serventia terminal e resistência do pavimento (número estrutural - SN), isto se forem considerados procedimentos da AASHTO. Eles são diferentes dos dados obtidos pela USACE, que avaliam os efeitos do carregamento na deformação permanente (afundamento da trilha de roda). Nas Tabelas 3.4 e 3.5 são apresentadas as expressões para o cálculo dos fatores de

equivalência, segundo a USACE e a AASHTO.

Tabela 3.4 - Fatores equivalência de carga da USACE

Tipo de Eixo	Faixa de Carga (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 - 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-5} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 - 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,528 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 - 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$
P= Peso bruto total sobre o eixo		

Fonte: DNER (2004).

Tabela 3.5 - Fatores de equivalência da AASHTO

Tipo de eixo	Equações (P em tf)
Simples de rodagem Simples	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simples de rodagem Dupla	$FC = (P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15,08)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22,95)^{4,22}$
P = Peso bruto total sobre o eixo	

Fonte: DNER (2004).

3.5 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO

Os pavimentos são concebidos para desempenharem suas funções por um determinado período de tempo ou ciclo de vida, durante o qual estes iniciam a sua vida numa condição perfeita até alcançar uma condição péssima. Este decréscimo de sua condição é denominado decréscimo da serventia e ao longo do tempo é conhecido como desempenho (DNIT, 2006). Sendo assim, serventia é definida como sendo o grau com que o pavimento atende aos requisitos de conforto ao rolamento e segurança, em um determinado momento de sua vida de serviço.

Segundo Rodrigues (1991), o pavimento é uma estrutura bastante complexa no que diz respeito à previsão de seu desempenho futuro, uma vez que o desempenho é dependente da interação de uma série de fatores (tráfego, clima, processos construtivos, condições de drenagem, estrutura do pavimento, materiais de construção utilizados e

políticas de manutenção adotadas), cuja quantificação é muito difícil.

Com o desenvolvimento de tecnologia aplicada aos pavimentos, modelos de previsão de desempenho têm sido desenvolvidos de maneira que se possa prever a ocorrência e evolução dos principais mecanismos de deterioração que concorrerem para diminuição da serventia do pavimento com o decorrer do tempo.

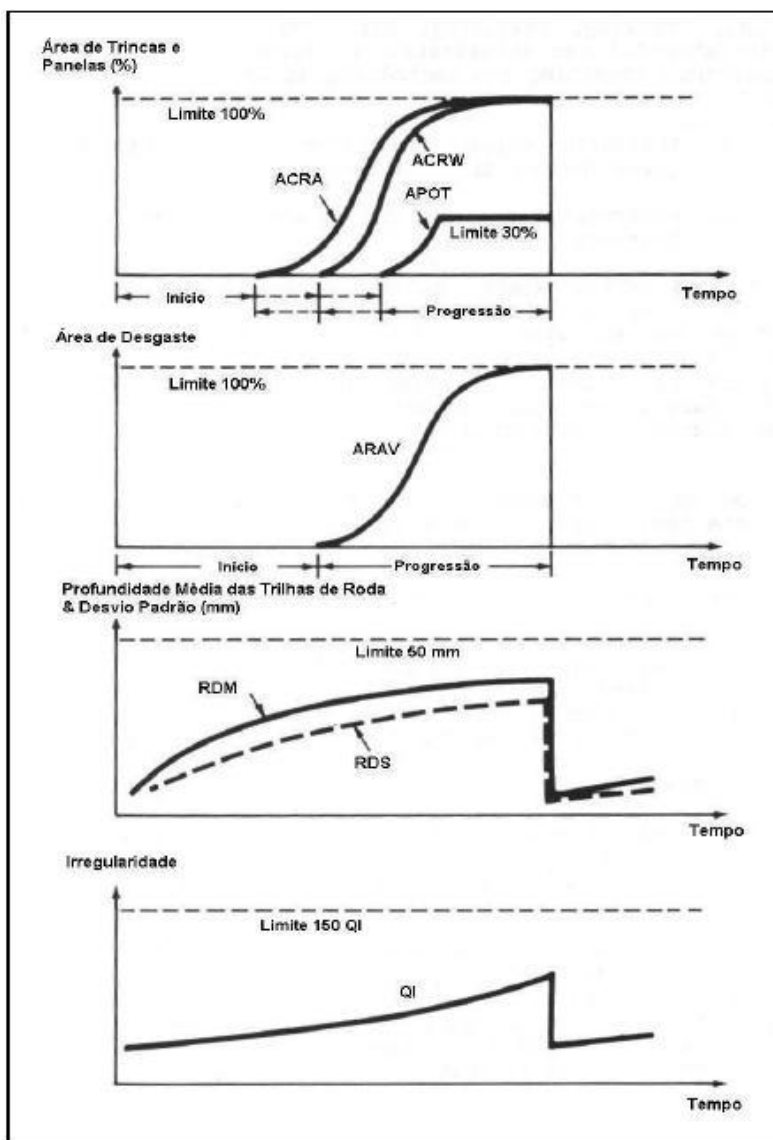
Os modelos de desempenho dos pavimentos são elaborados para estimar a variação das condições funcional e estrutural através de fatores que promovam sua deterioração, como por exemplo, os fatores climáticos, a idade, as solicitações de tráfego, o tipo de materiais usados na construção, à capacidade de suporte do subleito, além das diversas técnicas e controles construtivos, tornando-se bastante importante como instrumento decisório num sistema de gerenciamento rodoviário (YSHIBA, 2003).

As ações de manutenção e reabilitação envolvem normalmente investimentos periódicos consideráveis de recursos financeiros nas atividades e conservação. Para utilizar com eficiência esses recursos é necessário estimar as condições de serventia atuais e futuras, de diferentes trechos de pavimentos ou da malha viária, destacando assim a importância que os modelos de prevenção têm no interior de uma agência rodoviária.

Sendo assim, pode-se então, definir modelos de previsão de pavimentos como sendo funções que relacionam as características do pavimento e suas condições atuais (estruturais, funcionais e de degradação superficial) à evolução com o tempo dos defeitos de superfície ou do nível de serventia, sob dadas condições climáticas e de tráfego a que o pavimento está submetido (GONÇALVES, 1999).

A Figura 3.15 apresenta os modelos de desempenho definidos por Paterson (1986).

Figura 3.15 - Modelos de desempenho de pavimentos



Fonte: Adaptado de Paterson (1986).

Os modelos de desempenho de pavimentos podem ser divididos em quatro grandes grupos segundo proposto por Haas, Hudson e Zaniewski (1994):

- Puramente Mecanísticos: Modelos baseados em parâmetros de respostas estruturais tais como: tensão deformação ou deflexão do pavimento;
- Empírico-Mecanístico: Funções que relacionam as características do pavimento e suas condições atuais (estruturais, funcionais e de degradação superficial) à evolução com o tempo dos defeitos de superfície ou do nível de serventia, sob dadas condições climáticas e de tráfego a que o pavimento está submetido;
- Empíricos ou de Regressão: Funções em que as variáveis dependentes relativas à deterioração funcional ou estrutural são relacionadas com uma ou mais variáveis independentes, como o suporte do subleito, aplicações de cargas por eixo, propriedades e espessuras das camadas dos pavimentos, fatores ambientais e suas interações. Estas funções são formuladas a partir de análise de dados de desempenho levantados em pavimentos existentes;
- Probabilístico: Funções em que a experiência dos engenheiros e técnicos é formalizada por meio de processos de transição como o processo de Markov, que permite a estimativa da condição futura em termos de um índice de defeitos combinados (como o ICP, Índice da Condição dos Pavimentos) e a partir de matrizes de probabilidade de transição.

Lytton (1987) apresenta classificação de modelos de desempenho e os níveis de gerência de pavimentos, como mostra a Tabela 3.6. Segundo o autor, os modelos são classificados em determinísticos e probabilísticos.

Tabela 3.6 - Classificação de modelos de previsão de desempenho e nível de gerência

Nível de Gerência	Tipo de Modelo						
	Determinístico				Probabilístico		
	Resposta primária	Estrutural	Funcional	Defeito	Transição		
	- Deflexão - Tensão - Deformação - Temperatura - Teor Umidade	- Defeitos - <i>Pavemen</i> - <i>Condition Index (PCI)</i>	- PSI - Perda atrito - Segurança	- Equivalência de carga	- Curvas de sobrevida	Mar kov	Semi-Mar kov
Nacional					x	x	x
Estadual					x	x	x
Distrital		x	x	x	x	x	
Projeto	x	x	x	x			

Fonte: Adaptado de Lytton (1987 apud NAKAHARA, 2002).

3.5.1 Modelos Empíricos ou de Regressão

Segundo Lytton (1987 apud NAKAHARA, 2002), estes modelos calculam a vida de serviço restante do pavimento, o seu nível de defeito e outras medidas de suas condições. Nesta classe estão incluídos os modelos de respostas primárias do pavimento, de desempenho estrutural, de desempenho funcional e os defeitos, entendendo-se:

- Respostas primárias: para as cargas de tráfego e para as condições climáticas impostas, estes modelos determinam as respostas de deflexões, tensões e deformações do pavimento;
- Desempenho funcional: determinam a serventia, o atrito da superfície e o índice de segurança a derrapagem. São medidas da qualidade de rolamento do pavimento, que proporcionam conforto e segurança ao usuário da rodovia;
- Modelos de defeitos: são derivados dos modelos de desempenho estrutural e funcional, e através destes, determinam os fatores de equivalência de carga, cuja importância está no fato de que estes são derivados a partir deles, o que possibilita projetar pavimentos estruturalmente resistentes aos efeitos de um tráfego misto e auxiliar o cálculo da estimativa de custo de construção e de reabilitação do pavimento.

3.5.1.1 Modelos por regressão desenvolvidos por Marcon

Marcon (1996) estabeleceu modelos de previsão com base nos dados da rede rodoviária do Estado de Santa Catarina (extensão de 2500

km) que foram levantados em 1990. Análises das tendências de deterioração de desempenho e as comparações com modelos existentes foram efetuadas através de gráficos e equações, relacionados à idade o número equivalente de operações eixos padrão com 80 KN, calculado pelo método da AASHTO, as variáveis do quociente de irregularidade, deflexões máximas médias, índice de gravidade global, trincamento total e profundidade média das trilhas de roda Os modelos apresentados aqui são da Região 2 do Estado de Santa Catarina, conforme descrito por Marcon (1996).

$$QI=18.348+1,1635 \times IDADE \quad R^2=0,29 \quad 3.8$$

$$QI=25,785+4,0 \times 10^{-6} \times NA-5,0 \times 10^{-14} \times NA^2 \quad R^2=0,32 \dots\dots\dots 3.9$$

Em que:

- QI: Quociente de irregularidade em contagem m/km;
- IDADE: Idade do pavimento desde a construção ou reabilitação, em anos.
- NA: número equivalente de operações do eixo padrão calculado pelo método da AASHTO

3.5.1.2 Modelos por regressão desenvolvidos por Paterson

As equações por Paterson (1986) baseiam-se nos dados coletados no Brasil, por meio da Pesquisa de Inter-relacionamento (PICR), nas quais as equações foram determinadas por procedimentos estatísticos de regressão aliados a conceitos mecânicos de comportamento.

$$IRI= [IRI_0+72,5(1+SNC)^{-4,99} \times NE \ 4] \times e^{0,0153 \ AGE} \dots\dots\dots 3.10$$

Em que:

- IRI_0 : Irregularidade Longitudinal inicial, em m/km;
- SNC: Número Estrutural Corrigido;
- NE4: Número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO, em milhões por faixa;
- AGE: Idade do pavimento desde a construção, reabilitação ou

reconstrução em anos.

3.6 SISTEMA DE GERÊNCIA PASER/ROADSOFT-GIS

Durante as últimas décadas o programa PASER/RoadSoft-GIS tem sido utilizado por diversos Estados dos Estados Unidos, como uma importante ferramenta para a análise da viabilidade econômica de projetos rodoviários. A utilização do modelo tem servido a diferentes objetivos, como: a análise de alternativas tecnológicas para um mesmo projeto, priorização de investimentos em uma malha ou submalhas rodoviárias e obtenção de recursos financeiros em bancos e instituições financeiras (MLTAP, 2003).

Diversas versões dos modelos têm sido amplamente utilizadas em grandes agências rodoviárias, e tem sido um instrumento para a justificativa de orçamentos de manutenção e reabilitação rodoviária. Os modelos têm sido usados para determinar a viabilidade econômica de projetos rodoviários e para aperfeiçoar os benefícios econômicos dos usuários.

Segundo Silva (2005) o sistema esta dividido em três principais etapas:

- Map Reference Generation System RoadSoft (MrGens): é a etapa que corresponde à digitalização e referenciação de mapas pertinentes para utilização no RoadSoft-GIS;
- PASER: é a etapa onde se efetuam os levantamentos das condições dos Pavimentos;
- Roadsoft: é o sistema computacional que compila e processa os dados de forma a priorizar os trabalhos a serem realizados nos pavimentos, por um processo de otimização e uma análise benefício/custo.

A base para desenvolvimento deste sistema de gerenciamento se encontra no nível organizacional dos dados, uso de mapas geo-referenciados, nos níveis de tráfego, no tipo de materiais constituintes das camadas dos pavimentos constituintes da rede e na geometria do pavimento.

3.6.1 Estrutura do SGP PASER/RoadSoft-GIS

A estrutura do PASER/RoadSoft-GIS é baseada no conceito do ciclo de vida do pavimento. É aplicada para prever os seguintes itens do ciclo de vida de um pavimento rodoviário, que é tipicamente de 15 a 40

anos:

- Deterioração da rodovia;
- Efeitos dos serviços rodoviários (manutenção, conservação, etc.);
- Efeitos para os usuários;
- Efeitos ambientais e socioeconômicos.

A taxa de deterioração do pavimento é diretamente proporcional aos padrões de manutenção aplicados no reparo dos defeitos na superfície do pavimento (tais como trincamento, panelas, etc.), desse modo, permitindo à rodovia manter o tráfego de acordo com sua função operacional. As condições de pavimentos rodoviários em longo prazo dependem diretamente dos padrões de manutenção ou melhorias aplicadas a rodovias.

O planejamento estratégico das despesas de uma malha rodoviária de médio e longo prazo requer que o órgão responsável considere as necessidades de toda a malha rodoviária sobre sua gerência, portanto a análise estratégica (SILVA et al, 2008).

Para prever as necessidades de médio e longo prazo de uma malha rodoviária completa ou de uma sub-rede, o PASER/Roadsoft aplica o conceito de matriz de malha compreendendo categorias da rede rodoviária definida de acordo com os principais atributos-chave que influenciam no desempenho do pavimento.

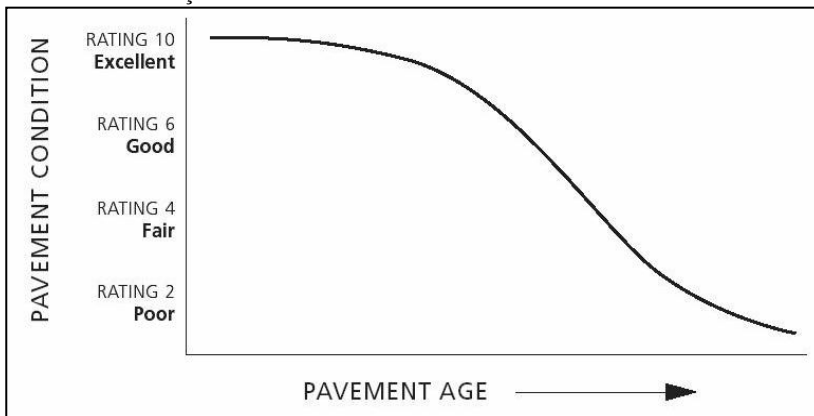
3.6.2 Sistema PASER

O Pavement Surface Evaluation and Rating (PASER), avaliação superficial do pavimento e sua classificação, é um sistema de levantamento visual contínuo desenvolvido nos Estados Unidos.

Este sistema de avaliação visual de pavimentos foi desenvolvido pelo Departamento de Estradas do Estado de Wisconsin nos Estados Unidos. O sistema tem como principal metodologia de avaliação a atribuição de uma escala que varia de 1 (péssimo) a 10 (excelente) aos pavimentos pertencentes a uma rede. Ele foi desenvolvido para diversos tipos de revestimento de superfície dos pavimentos, como por exemplo: concreto asfáltico, tratamento superficial, concreto e revestimento primário.

A Figura 3.16 apresenta um gráfico onde se pode verificar a sistemática das escalas atribuídas nos levantamentos em função da condição dos pavimentos.

Figura 3.16 - Evolução do Pavimento com a idade e sua condição - Sistema PASER de avaliação



Fonte: MLTAP (2003).

Durante a atribuição de escala como demonstrativo do estado da rodovia, três categorias são verificadas, nas quais para cada categoria certo tipo de intervenção deverá ser realizado. A seguir, descreve-se cada categoria, de acordo com os Manuais da PASER (WALKER; ENTINE; KUMMER, 2002a;b; c):

- Rodovias com a escala PASER entre 8-10 requerem manutenção rotineira. Manutenção de rotina é aquela realizada numa base diária. As atividades de manutenção são programadas para prevenir o acúmulo de água na superfície da rodovia e, conseqüentemente, a sua penetração;
- Rodovias com a escala PASER entre 5-7 requerem uma intervenção de Manutenção preventiva, que significa o planejamento de tratamentos, cujo custo benefício é alto para uma rede rodoviária, de forma a preservar, retardar a deterioração, sem aumentar sua capacidade estrutural. O propósito desta aplicação é o de proteger a estrutura do pavimento e retardar deterioração do pavimento;
- Rodovias com a Escala PASER entre 1-4 requerem melhoramentos estruturais. Esta categoria inclui trabalhos do tipo restauração e reconstrução que tem como o intuito de melhorar a integridade estrutural da rodovia. Nesta condição o pavimento é dado como em avançado estado de deterioração.

A Tabela 3.7 apresenta um resumo dos conceitos acima descritos.

Tabela 3.7 - Escalas atribuídas aos pavimentos

AVALIAÇÕES RELACIONADAS COM A MANUTENÇÃO E REPAROS	
Avaliação 9-10	Sem necessidade de manutenção
Avaliação 8	Pouca manutenção requerida
Avaliação 7	Manutenção de rotina, selagem de trincas.
Avaliação 5-7	Tratamentos preventivos
Avaliação 3-4	Aumento da capacidade estrutural
Avaliação 1-2	Reconstrução

Fonte: MLTAP (2003).

As Tabelas 3.8, 3.9 e 3.10 apresentam as normas classificativas das avaliações superficiais para pavimentos asfálticos, tratamento superficial e rodovias não pavimentadas.

Tabela 3.8 - Escalas atribuídas a pavimentos de concreto asfálticos

CLASSIFICAÇÃO	DEFEITOS VISÍVEIS	MEDIDAS DE TRATAMENTO
10 Excelente	Nenhum	Construção Nova
9 Excelente	Nenhum	Reforço recente, Quase Novo
8 Muito Bom	Sem trincas Longitudinal. Trincas transversais com abertura de 6,35 mm	Tratamento Super, pouca manutenção
7 Bom	Trincas longitudinais, trincas transversais, poucos remendos, mas em boas condições	Primeiros sinais de envelhecimento. Manutenção de Rotina, selagem de trincas
6 Bom	Perda de finos e da camada de desgaste. Trincas longitudinais com espaçamento entre 6,35 a 5 mm. Sinais de trincas em bloco início de bombeamento de finos	Sinal de envelhecimento do pavimento. Tratamento superficial aumentaria a vida do pavimento
5 Moderado	Trincas longitudinais espaçadas 5 mm. Início de desgaste com perda de material agregado. Trincas longitudinais na borda do pavimento. Trincas em Bloco em quase 50% do pavimento	Envelhecimento da superfície. Necessidade de uma camada fina de asfalto 50mm
4 Moderado	Trincas Longitudinais e transversais múltiplas, trincas no trilho de roda. Trincas em bloco mais de 50 % do pavimento, ondulações e distorções no pavimento	Capacidade estrutural ameaçada, avançado envelhecimento. Necessidade de aumento da capacidade estrutural através colocação de 50 mm de asfalto
3 Péssimo	Trincas Longitudinais, transversais pouco espaçadas com início de erosões nas bordas das trincas. Surgimento de trincas do tipo jacaré em quase 50 % do pavimento, remendos em mau estado. Surgimento de Panelas	Necessidade de remendo, reparos antes da colocação de uma reabilitação
2 Muito péssimo	Trincas do tipo couro jacaré em 25% da superfície, muitos remendos em muito péssimas condições, e placas em 25 % da superfície	Deterioração severa, reparações na base antes da reconstrução
1 Destruído	Defeitos muito extensivos causando a perda da integridade da superfície do pavimento, conseqüentemente graves problemas estruturais	Necessita reconstrução total

Fonte: MLTAP (2003).

Tabela 3.9 - Escalas atribuídas a rodovias com tratamento superficial

CLASSIFICAÇÃO	DEFEITOS VISÍVEIS	MEDIDAS DE TRATAMENTO
5 Excelente	Nenhum defeito. Poeira Controlada. Excelente superfície	Construção Nova, ou reconstrução total
4 Bom	Perda moderada de agregado, Poeira sobre a superfície considerando pavimento seco	Boa seção transversal permitindo a drenagem, camada adequada para o tráfego. Manutenção de rotina e controle de poeira
3 Moderado	A camada superficial em boas condições, mas necessitando de material para corrigir o perfil transversal corrugações e painelas. Corrugações significando cerca de 10% a 25% da superfície. Surgimento de afundamentos de trilha de roda. Pequenas painelas de 50mm de profundidade	Efeitos no tráfego através da diminuição da velocidade. Necessidade de uma nova camada. manutenção preventiva
2 Pobre	Seção transversal danificada. Em mais de 25 % da rodovia há perda de agregado, corrugação severa quase 25 % do pavimento, afundamentos de trilha de roda em 25 % do pavimento Painelas com mais de 50mm de profundidade em mais de 25% do pavimento	Tráfego difícil, em velocidades menores que 25 km/h necessita agregado adicional. Manutenção de rotina
1 Péssimo	Seção transversal completamente danificada: Afundamentos de trilho de roda muito alto mais de 25%, e em mais de 25 % não existe mais agregados	Difícil travessia da rodovia, em alguns lugares se torna impossível o tráfego. Necessidade de uma completa reabilitação

Fonte: MLTAP (2003).

Tabela 3.10 - Escalas atribuídas a rodovias não pavimentadas

CLASSIFICAÇÃO	DEFEITOS VISÍVEIS	MEDIDAS DE TRATAMENTO
5 Excelente	Nenhum defeito. Excelente superfície para o tráfego de veículos	Construção Nova, com excelente drenagem. Sem Necessidade de Manutenção
4 Bom	Perda moderada da camada de revestimento, perda moderada de agregado devido ao tráfego	Excelente drenagem, pouca manutenção periódica necessária
3 Moderado	Início de perda do material da camada de tráfego, alguns remendos, perda de agregado.	Moderada drenagem. Necessita de melhoramentos localizados e alguns remendos. Necessita de manutenção preventiva. Nova camada de tratamento superficial
2 Pobre	Moderado para ruim, trincas na borda. Painéis com perda significativa da camada de tratamento superficial. Trincas do tipo crocodilo	Drenagem pobre. Nova necessita de camada de tratamento superficial
1 Péssima	Perda extensiva da camada superficial. Trincas severas nas bordas, trincas do tipo crocodilo, muitos remendos e muitas extensões com afundamentos da trilha de roda	Melhoramentos na base para aumentar a capacidade estrutural através de uma nova dupla camada de tratamento superficial

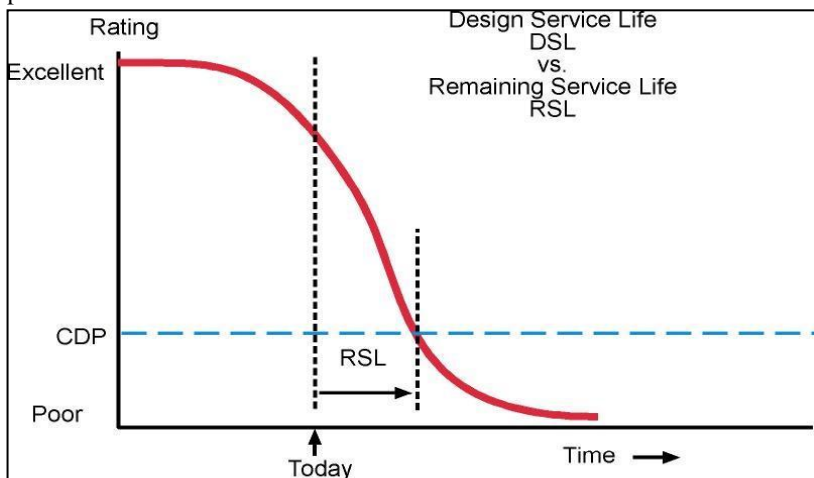
Fonte: MLTAP (2003).

Estas atribuições de escalas permitem conhecer o estado verdadeiro das rodovias e listar três pontos principais:

- Ponto crítico da condição do pavimento: Valor estabelecido para indicar que o pavimento está com problemas estruturais, sendo que a solução mais eficaz para manutenção seria uma reabilitação pesada ou reconstrução;
- Vida restante do pavimento: Estima o tempo restante de vida até que o pavimento atinja o valor do ponto crítico da condição do pavimento.
- Vida projetada do pavimento: Valor adquirido por projeto que estima a vida total do pavimento, durante o ciclo de vida do mesmo.

A Figura 3.17 representa o ponto crítico e um determinado pavimento na qual se pode identificar que o pavimento vai passando de uma condição boa de trafegabilidade, para uma condição péssima trafegabilidade (SILVA, 2005).

Figura 3.17 - Representação da vida restante do pavimento e do ponto crítico do pavimento



Fonte: Silva (2005).

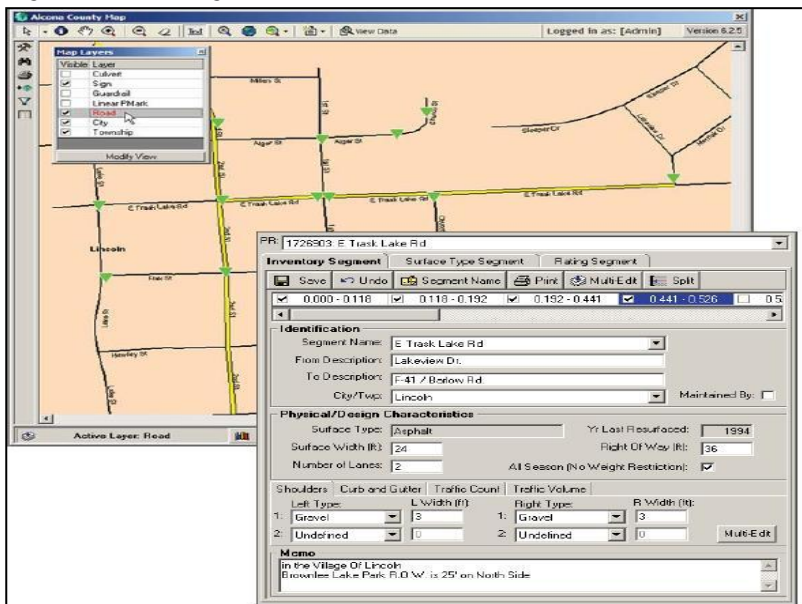
A vida restante do pavimento indica o estado em que o pavimento se encontra, permite fazer avaliação futura do pavimento, estabelecer os pavimentos candidatos a serem reabilitados, através de uma otimização de estratégias e custos, utilizando a ferramenta virtual Roadsoft-GIS.

3.6.3 Sistema Computacional RoadSoft-GIS

RoadSoft-GIS é um sistema de gerenciamento rodoviário para coleta, armazenamento e análise de dados relacionados com infraestrutura de transporte. O RoadSoft-GIS é construído numa combinação de base de dados e uma ferramenta de mapeamento geo-espacial GIS. Esta combinação possibilita uma rápida e ampla capacidade de manuseio dos dados.

Roadsoft-GIS é um sistema computadorizado desenvolvido pelo grupo de desenvolvimento de tecnologia do MTU - Michigan Technological University (Universidade Tecnológica de Michigan). Este sistema foi construído sob uma combinação entre uma base de dados resultante dos levantamentos realizados através do sistema PASER, por meio de mapas geo-referenciados, conforme ilustra a Figura 3.18.

Figura 3.18 - Visão geral do RoadSoft-GIS



Fonte: Silva (2005).

Uma vez levantados os dados pelo sistema PASER, estes são automaticamente transferidos para a base do sistema, via *online*, utilizando o sistema GIS (geo-referenciamento), o que possibilita uma atualização mais rápida e segura, diminuindo tempo e melhorando a logística de armazenamento e tomada de decisão para os diversos projetos a serem analisados.

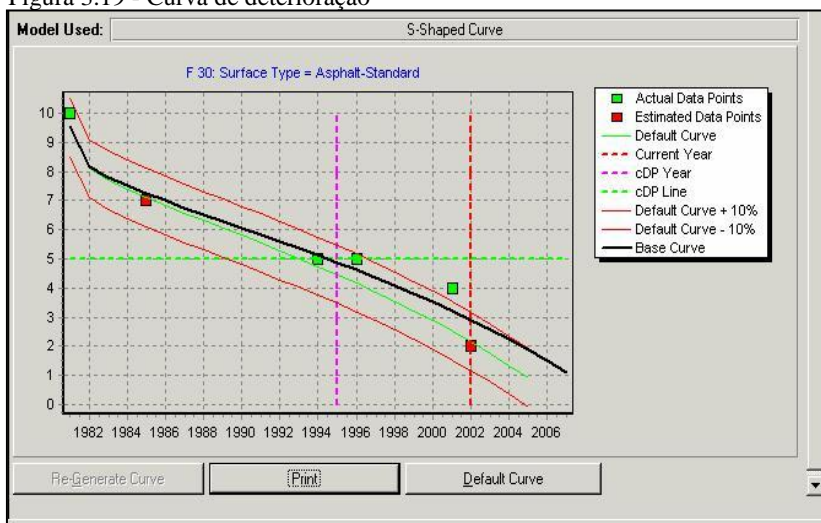
O sistema Roadsoft-GIS compreende uma variedade de módulos que vai desde a descrição da rodovia e seu inventário à análise de seu estado e a correta administração dos recursos disponíveis pela agência rodoviária para sua manutenção.

Os módulos do RoadSoft-GIS incluem:

- Inventário e Administração da Rede Rodoviária;
- Inventário e Administração dos Bueiros e Drenagem;
- Inventário e Administração de Sinais de Trânsito;
- Contagem de Tráfego;
- Construção da Rede Rodoviária;
- Segurança (dados de acidentes).

Uma vez alimentado, o sistema faz a análise dos dados disponíveis, atribui para cada trecho as curvas de deterioração com base nos conceitos de vida restante do pavimento e o ponto crítico da condição do pavimento. A Figura 3.19 apresenta o gráfico elaborado pelo RoadSoft-GIS com as curvas para um determinado trecho.

Figura 3.19 - Curva de deterioração



Legenda:

1. *Actual Data Points*: Pontos de Dados Atuais
2. *Estimated Data Points*: Pontos de Dados Estimados
3. *Default Curve*: Curva Padrão
4. *Current Year*: Ano Corrente
5. *CDP Year*: Ano para o CDP
6. *CDP Line*: Linha de CDP
7. *Base Curve*: Curva de Base

Fonte: Silva (2005).

3.6.3.1 Coleta Móvel de Dados

Para racionalizar o tempo e consequentemente os custos operacionais, o Departamento de Transportes de Michigan (MDOT) através do MLTAP desenvolveu uma ferramenta simples e prática para ser usada para a coleta de dados, conforme mostra a Figura 3.20.

Figura 3.20: Processo de coleta móvel



Fonte: Silva (2005).

Esta ferramenta denominada de Laptop Data Collector (LDC) foi projetada especificamente pelo LTAP de Michigan para inserir dados no Roadsoft-GIS, possibilitando a coleta de todos os dados possíveis que possam ser levantados do interior de um carro em movimento.

O GPS Laptop Data Collector System (LDC) consiste num sistema simplificado de coleta de dados no campo. Constituído por um veículo e um computador Laptop acoplado a um GPS que permite uma coleta em tempo real da condição da rodovia durante o movimento deste na rodovia. Este sistema possui uma base de dados GIS que pode ser exportada facilmente para a base de dados do RoadSoft-GIS. Uma vez coletados, os dados são descarregados na versão RoadSoft-GIS da agência rodoviária que controla essa jurisdição da rede (ROADSOFT-GIS, 2007).

O GPS registra posição do LDC, e este por sua vez detecta a posição da rodovia ou de qualquer outro elemento seu constituinte ativo.

Durante o deslocamento ao longo da rodovia o LDC continua coletando os segmentos da rodovia e os elementos baseado nas suas posições georeferenciais transferidas através do GPS.

3.6.3.2 Módulo da Rede Rodoviária

Uma vez os dados coletados através do “Laptop Data Collector”, estes são transferidos para o interior do sistema Roadsoft-GIS, onde são armazenados como dados no módulo de inventário da rede rodoviária.

Neste módulo se encontra o inventário da rodovia, que compreende desde o tipo de superfície, até a classificação da mesma, consoante a severidade de defeitos que ela pode apresentar. Ele apresenta três principais submódulos para armazenar os diferentes tipos de dados, sendo eles:

- Classificação em relação aos defeitos do segmento;
- Tipo de superfície;
- Inventário da rodovia.

Submódulo de Inventário

Este submódulo contém a informação do inventário realizado, o que permite descrever as características físicas do segmento de rodovia a ser analisado, como por exemplo, o número de faixas de rodagem, a espessura da camada de revestimento, os tipos de acostamento, etc. (Figuras 3.21 e 3.22).

Submódulo de Tipo de Superfície

Este submódulo contém a informação do tipo de superfície encontrada no segmento de rodovia a ser analisado, conforme a Figura 3.23.

Submódulo da Classificação dos Defeitos

Este submódulo contém a informação da classificação do segmento que descreve a condição que ele se encontra, a história de construção, e ainda projeta uma futura construção ou manutenção no segmento da rodovia que esta sendo analisada. Esta classificação é baseada no sistema de levantamento visual PASER que é utilizado pelo

coletor móvel de dados (WTIC, 2003a,b,c; SILVA, 2005). As Figuras 3.21 a 3.24 apresentam a disposição do submódulo.

Figura 3.21 - Submódulo de Inventário rodovia N2

Guides: 2,000

< Hide Traveler ☐ Keep On Top

PR: 218: N2 RD

Inventory Segment Surface Type Segment Rating Segment

Save Undo Segment Name Print Multi-Edit Split

☐ 9.540 - 26.072 ☐ 26.072 - 39.431 ☒ 39.431 - 45.505 ☒ 45.505 - 51.099

Identification

Segment Name: N2 RD

From Description: Dead-End

To Description: R807 Rd

City/Twp: MATOLA twp Maintained By: ☐

Physical/Design Characteristics

Surface Sub-Type: Asphalt-Standard Yr Last Resurfaced: 0

Surface Width (ft): 20 Restriction: Not designated

Number of Lanes: 2

Right Of Way (ft): 0

Shoulters Curb and Gutter Traffic Count Traffic Volume

	Left Type:	L Width (ft):	Right Type:	R Width (ft):
1:	Bituminous	1	Bituminous	1
2:	Undefined	0	Undefined	0

Multi-Edit

Memo

County Left | Right:

City/Twp Left | Right: MATOLA twp

Fonte: Silva (2005).

Figura 3.22 - Submódulo de Inventário rodovia N2 - Detalhe

Inventory Segment	Surface Type Segment	Rating Segment	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Save Undo Segment Name Print Multi-Edit Split </div>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <input type="checkbox"/> 9,540 - 26,072 <input type="checkbox"/> 26,072 - 39,431 <input checked="" type="checkbox"/> 39,431 - 45,505 <input checked="" type="checkbox"/> 45,505 - 51,099 </div>			
Identification			
Segment Name: <input style="width: 80%;" type="text" value="N2 RD"/>			
From Description: <input style="width: 80%;" type="text" value="Dead-End"/>			
To Description: <input style="width: 80%;" type="text" value="R807 Rd"/>			
City/Twp: <input style="width: 80%;" type="text" value="MATOLA twp"/> Maintained By: <input type="checkbox"/>			
Physical/Design Characteristics			
Surface Sub-Type: <input style="width: 60%;" type="text" value="Asphalt-Standard"/>		Yr Last Resurfaced: <input style="width: 40%;" type="text" value="0"/>	
Surface Width (ft): <input style="width: 40%;" type="text" value="20"/>	Restriction: <input style="width: 60%;" type="text" value="Not designated"/>		
Number of Lanes: <input style="width: 40%;" type="text" value="2"/>			
Right Of Way (ft): <input style="width: 40%;" type="text" value="0"/>			
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Shoulders Curb and Gutter Traffic Count Traffic Volume </div>			
Left Type: <input style="width: 60%;" type="text" value="Bituminous"/>		Right Type: <input style="width: 60%;" type="text" value="Bituminous"/>	
L Width (ft): <input style="width: 40%;" type="text" value="1"/>		R Width (ft): <input style="width: 40%;" type="text" value="1"/>	
1: <input style="width: 60%;" type="text" value="Undefined"/>		1: <input style="width: 60%;" type="text" value="Undefined"/>	
2: <input style="width: 60%;" type="text" value="Undefined"/>		2: <input style="width: 60%;" type="text" value="Undefined"/>	
<input type="button" value="Multi-Edit"/>			
Memo			
<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"></div>			
County Left Right: <input style="width: 80%;" type="text"/>			
City/Twp Left Right: <input style="width: 80%;" type="text" value="MATOLA twp"/>			
Act51 NFC: <input style="width: 80%;" type="text" value="State Trunkline Rural Interstate"/>			

Figura 3.23 - Submódulo de tipo de superfície rodovia N2

Inventory Segment		Surface Type Segment		Rating Segment	
<div> <div>Save</div> <div>Undo</div> <div>Print</div> <div>Multi-Edit</div> <div>Split</div> </div>					
<div> <input type="checkbox"/> 0.000 - 26.072 <input type="checkbox"/> 26.072 - 39.431 <input type="checkbox"/> 39.431 - 45.505 <input checked="" type="checkbox"/> 45.505 - 51.099 </div>					
Surface Type: Asphalt		Surface Sub-Type: Asphalt-Standard <div>Edit...</div>			
Identification					
From Description: R807 Rd					
To Description: N1 Rd					
Design Characteristics					
Base Type: Undefined		Surface Specification: Asphalt Standard		Surface Depth: 0	
Sub Base Type: Undefined		Base Specification: Soil Cement Stabilization		Base Depth: 7	
		Subbase Specification: 		Subbase Depth: 0	
County Left Right:					
City/Twp Left Right: MAPUTO twp					
Act51 NFC: State Trunkline Rural Interstate					

Fonte: Silva (2005).

Figura 3.24 - Submódulo de classificação dos defeitos rodovia N2

Inventory Segment Surface Type Segment **Rating Segment**

Save Undo Print Split Deterioration Curve

☐ 0.000 - 9.695 ☒ 9.695 - 15.025 ☐ 15.025 - 15.119 ☐ 15.119 - 29.216 ☐ 29.2

Identification

Surface Sub-Type: Asphalt-Standard

From Description: Dead-End

To Description: [Undescribed Rating Segment Split]

Rating / Construction History Archive Scheduled Maintenance

Date	Surface	Base	Drain	Ride		
08/24/2006	10	0	0	0		

Add Rating
Multi-Edit

Date	Activity		
08/24/2006	Reconstruction - 6" base, 3" top		

Add Activity
Multi-Edit

RSL: 14 RSL Confidence: 100% Current Rating: 9

County Left | Right: _____

City/Twp Left | Right: MARRACUENE twp

Act51 | NFC: State Trunkline | Rural Interstate

Fonte: Silva (2005).

3.6.3.3 Modelos de previsão de desempenho do RoadSoft-GIS

Os modelos utilizados atualmente no RoadSoft-GIS para a previsão do desempenho de pavimentos são baseados no Sistema de Precisão da Qualidade de Rodagem (RQFS), designado para modelar as rodovias principais do Estado de Michigan é usado pelo Departamento de Estradas de Michigan (MDOT). Os dados disponíveis em Michigan não eram suficientes em quantidade e qualidade, estes modelos foram adaptados usando uma variedade de curvas de deterioração baseadas em conhecimento de engenharia e estimativas sobre o processo de

deterioração dos pavimentos (SILVA, et al, 2008) A validação e calibração destes modelos foram essenciais de forma a melhorar a acurácia e veracidade das previsões.

Os pesquisadores avaliaram os modelos do RoadSoft-GIS através de um conjunto de dados obtidos juntos às agências rodoviárias de Michigan. A análise forneceu base estatística suficiente para calibrar os modelos existentes e gerar novos modelos de deterioração que melhor se adaptariam as condições locais de Michigan, de forma a representar uma variedade de atributos – tipos de pavimentos, regiões geográficas, práticas de manutenção e volumes de tráfego.

3.6.3.3.1 Modelos de crescimento

Estes modelos de crescimento foram desenvolvidos para examinar o processo de crescimento em muitas áreas de estudo incluindo biologia, zoologia e o estudo de mortalidade de seres humanos. Muitos processos de crescimento podem muito bem ser descritos por meio de dois tipos básicos de modelos de crescimento: o modelo de crescimento Gompertz e o modelo de crescimento de Logística.

Dong (2007) verificou a deterioração do pavimento como um processo de crescimento, então a aplicação destes modelos se torna uma premissa verdadeira em detrimento dos modelos empíricos. A vantagem do uso dos processos de crescimento *versus* os modelos empíricos é que são derivados de certas premissas, de forma que os parâmetros dos modelos são verossímeis. Ao contrário, os parâmetros dos modelos empíricos (como modelos polinômios de diferentes graus) não fariam sentido.

O RoadSoft-GIS possibilita a análise usando os modelos Gompertz e os modelos logísticos de crescimento.

Modelos de Desempenho do tipo Gompertz

Os modelos de crescimento Gompertz estão baseados na distribuição do tipo Gompertz. Foi inicialmente introduzido por Benjamin Gompertz, em 1825, para estabelecer tabelas estatísticas sobre a mortalidade infantil. A premissa conceitual usada por Gompertz era que a taxa de crescimento relativo da população é linearmente relacionada com o logaritmo natural do tamanho atual da população. Isto pode ser demonstrado pela Equação 3.11, onde o lado esquerdo da equação é relativo à taxa de crescimento e “a” e “b” são constantes.

$$\frac{dR}{Rdt} = a(\ln R + b) \quad 3.11$$

Sendo uma função decrescente $a < 0$. Resolvendo esta equação da origem a seguinte equação onde c e R é a classificação do pavimento no tempo t . Segundo Dong (2007) a solução da equação diferencial possibilita conhecer a deterioração do pavimento com o tempo.

$$R = e^{ces^{at}-b} \quad 3.12$$

Silva, et al. (2008) sugere que, levando em consideração os resultados obtidos pela avaliação PASER, e resolvendo a equação diferencial acima, pode se dizer que a taxa de deterioração do pavimento é diretamente proporcional ao crescimento exponencial da condição crítica do pavimento consoante o tempo de sua última reabilitação.

$$R = l \left(\frac{\beta}{l} \right)^{\left(\frac{\ln \frac{CDP}{l}}{\ln \frac{\beta}{l}} \right)^{t/DSL}} \quad 3.13$$

Onde:

- R: Equivale a deterioração do pavimento no tempo t ;
- l : valor da avaliação PASER quando o tempo t tende para o infinito;
- β : valor da avaliação PASER quando o t quando o pavimento é novo;
- CDP: Ponto Crítico da vida do pavimento: Valor PASER quando o pavimento deve ser reabilitado;
- DSL: Vida de Projeto de Pavimento;
- t : tempo de deterioração do pavimento.

Modelos de Crescimento do Tipo Logístico

A premissa conceitual utilizada neste modelo é que a taxa de crescimento da população é assumida como proporcional ao produto do tamanho da população atual e a diferença entre a população atual e o

limite do tamanho da população quando o tempo t tende ao infinito. Esta classificação torna o tamanho da população em um modelo de crescimento e permite que este modelo possa ser usado para descrever o processo de deterioração de pavimentos.

Sendo assim, Silva et al (2008) escreve que ao assumir que a taxa de crescimento no tempo t é diretamente proporcional ao produto da classificação do pavimento no tempo t e o futuro crescimento pode então ser descrito pela equação diferencial.

$$\frac{dR}{Rdt} = a(\ln R + b) \quad 3.14$$

Segundo Kuo (1995), a resolução desta equação diferencial origina a equação seguinte:

$$R = e^{ces^{at}-b} \quad 3.15$$

Do mesmo modo que nos modelos de crescimento do tipo Gompertz, calcula-se a equação diferencial 3.15, a projeção para a deterioração do pavimento atendendo as premissas das avaliações PASER toma o formato 3.16.

$$R = \frac{l}{1 - \frac{\beta - l}{\beta} \left(\frac{\beta(CDP - l)}{CDP(\beta - l)} \right)^{t/DSL}} \quad 3.16$$

Onde:

- R: Equivale a deterioração do pavimento no tempo t ;
- l: valor da avaliação PASER quando o tempo t tende para o infinito;
- β : valor da avaliação PASER no tempo t ;
- CDP: Ponto Crítico da Vida do Pavimento: Valor PASER quando o pavimento deve ser reabilitado;
- DSL: Vida de Projeto de Pavimento;
- t : tempo de deterioração do pavimento.

3.6.3.4 Tipos de intervenção do RoadSoft

O programa RoadSoft-GIS foi desenhado para seis diferentes tipos de pavimento, o que confere uma grande abrangência no que se refere à definição das especificações estruturais, sua deterioração, e

consequentemente suas atividades de manutenção, através da incorporação dos custos inerentes.

O RoadSoft-GIS inclui seis diferentes tipos de pavimento:

- Asfalto;
- Concreto;
- Lajota;
- Tratamentos Superficiais;
- Estradas de Terra;
- Saibro.

É permitido adicionar outro tipo de pavimento desde que se conheçam as características básicas, o tipo, a espessura da camada e a projeção da curva de deterioração a ele atribuída. A Figura 3.25 apresenta a tela de definição do pavimento

Figura 3.25 - Tela de definição das superfícies dos pavimentos

Categoria de Pavimento

Tipo Superfície de Pavimento

Surface Type Definition

Surface Type:

Surface Type	Abbrev.	Road Width	Left Shoulder	Right Shoulder	Assigned Curve
Asphalt					
Asphalt-Standard	Asp	22	2	2	Asphalt Curve
Composite	Comp	30	4	4	Composite Curve
Asphalt-All Season	AspAS	22	3	3	Asphalt-All Season Curve

Treatment Description	Type	Min Trig	Max Trig	Reset	Surf (\$/Sq Yd)	Shldr (\$/Sq Yd)	Cost / Lane Mile	New Surf	TAMC Class	TAMC Treatment
Check Seal	PM (CPM)	6	6	7	\$0.20	\$0.00	\$1,290.67	No	CPM	Overband crack fill
Sealcoat	PM (CPM)	6	6	8	\$0.60	\$0.10	\$3,989.33	No	CPM	Chip Seal
Sealcoat Single	PM (CPM)	6	6	8	\$0.60	\$0.10	\$3,989.33	No	CPM	Chip Seal
Sealcoat Single +	PM (CPM)	5	5	8	\$0.90	\$0.10	\$5,925.33	No	CPM	Chip Seal
Sealcoat +	PM (CPM)	5	5	8	\$0.60	\$0.10	\$3,989.33	No	CPM	Chip Seal
Sealcoat Double	PM (CPM)	5	5	8	\$1.20	\$0.00	\$7,744.00	No	CPM	Chip Seal
Durapatch	PM (CPM)	5	5	7	\$0.00	\$0.00	\$0.00	No	CPM	Skip patching
Overlay - 2" Thick (AspAS)	RH (SI)	4	4	9	\$2.75	\$2.00	\$20,093.33	No	SI	Resurfacing
Overlay - 2" Thick (Asp)	RH (SI)	4	4	9	\$5.40	\$2.00	\$37,194.67	No	SI	Resurfacing
Overlay - 3" Thick	RH (SI)	4	4	9	\$5.40	\$2.00	\$37,194.67	No	SI	Resurfacing
Reconstruction - 4" base, 3" top	RC (SI)	4	4	10	\$0.00	\$0.00	\$0.00	Yes	SI	Reconstruction
Mill & Overlay - 3" Thick (AspAS)	RH (SI)	3	3	9	\$4.00	\$3.50	\$29,920.00	No	SI	Rehabilitation
Mill & Overlay - 3" Thick (Asp)	RH (SI)	3	3	9	\$7.00	\$3.50	\$49,280.00	No	SI	Rehabilitation
Reconstruction - 6" base, 3" top (Asp..)	RC (SI)	2	2	10	\$7.00	\$5.00	\$51,040.00	Yes	SI	Reconstruction
Reconstruction - 6" base, 3" top (Comp)	RC (SI)	2	2	10	\$14.00	\$7.00	\$98,560.00	Yes	SI	Reconstruction
Reconstruction - 9" base, 3" top (Asp..)	RC (SI)	1	1	10	\$9.00	\$8.50	\$69,053.33	Yes	SI	Reconstruction
Reconstruction - 9" base, 3" top (Comp)	RC (SI)	1	1	10	\$17.00	\$8.50	\$119,680.00	Yes	SI	Reconstruction
Crush & Shape - 2" Top	RC (SI)	1	1	10	\$0.00	\$0.00	\$0.00	Yes	SI	Rehabilitation

Fonte: RoadSoft-GIS (2009).

Por outro lado, o RoadSoft-GIS agrupa as intervenções de manutenção em três diferentes categorias apresentadas, segundo Melo (2008):

- Melhoramento Estrutural (ME): Consiste no melhoramento estrutural, a devolução da integridade estrutural, aumentando a vida de fadiga do pavimento e aumentando a sua capacidade

estrutural. Por exemplo, a reabilitação ou reconstrução de um pavimento, a adição de uma camada de asfalto CAUQ ou saibro e a pavimentação de uma rodovia de saibro.

- Manutenção Preventiva Capital (CPM): Consiste na correção da camada de desgaste de uma rodovia de forma a aumentar a vida funcional da mesma. Esta inclui a adição de uma camada betuminosa, tratamentos superficiais e remendos de panelas.
- Manutenção de Rotina (RM): Consiste em tratamentos como a adição de uma camada ultrafina sobre o pavimento. No caso de rodovias não pavimentadas: limpeza de bueiros, selagem de trincas, etc.

Todas estas intervenções são baseadas nas definições da AASHTO (1998). Permitem que o usuário possa modificar e editar cada intervenção de forma a se ajustar a cada característica do órgão onde se estiver a implantar o sistema.

Na definição de cada intervenção deve-se tomar em conta dados históricos que possam estar disponíveis que refletem experiências específicas de forma a possibilitar um maior entendimento sobre os requisitos para cada intervenção e os custos inerentes.

Para cada intervenção de manutenção ou reabilitação o custo tem que ser introduzido. Cabe ao usuário apresentar o custo consoante a sua própria jurisdição.

A Figura 3.26 apresenta a tela para edição de custos utilizados para qualquer um dos tipos de pavimentos.

Figura 3.26 - Tela de definição das superfícies dos pavimentos

Legenda

1. *Treatment Description*: Descrição do Tratamento
2. *Type*: Tipo
3. *Surface*: Superfície
4. *Shoulder*: Acostamento
5. *Total (\$/Lane mile)*: Total (em dólares por milha)
6. *New Surface*: Nova superfície

Fonte: RoadSoft-GIS (2009).

Todas as unidades estão definidas no sistema métrico, cabe ao usuário converter para o Sistema Internacional (SI) ou outros sistemas dependendo da jurisdição e as definições de cada órgão rodoviário.

3.6.3.5 Definição das estratégias e otimização

Uma vez definido o tipo de pavimento, o estado do mesmo mediante a introdução de dados históricos, por meio dos levantamentos PASER, o tipo de intervenção a ser realizada e o custo, o sistema cria as estratégias otimizadas.

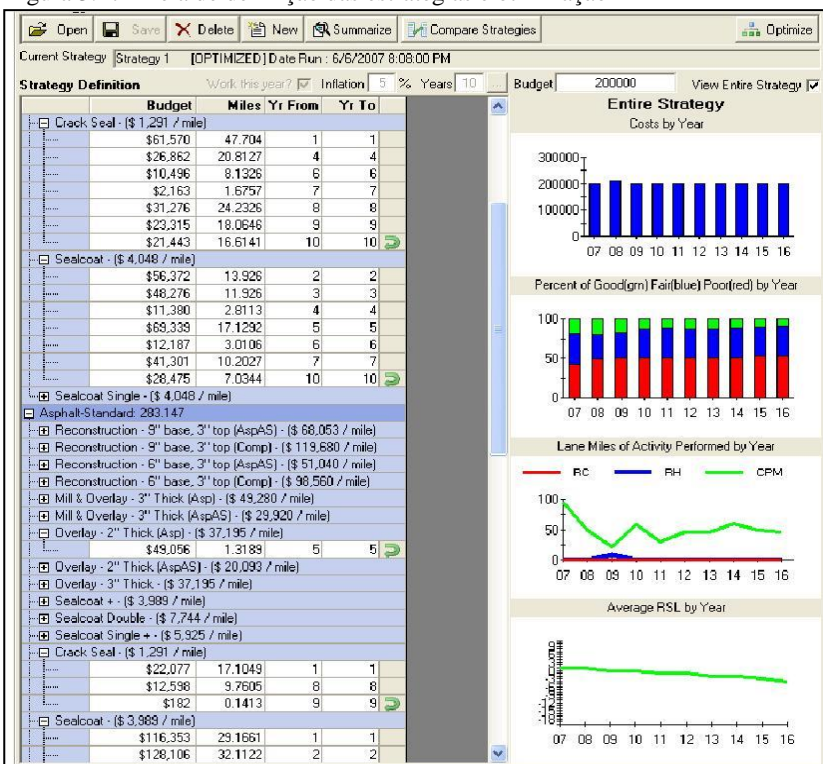
As estratégias produzidas refletem aquilo que será o orçamento a ser utilizado em determinado ano. O objetivo desta estratégia é

maximizar a vida de serviço restante (RSL) do pavimento.

A ideia está na comparação entre várias estratégias de forma a se verificar qual delas será a melhor, tendo em conta o custo, o estado da rodovia e o tempo para com a qual será empregada.

A Figura 3.27 apresenta a visão geral da tela de estratégias e otimização.

Figura 3.27 - Tela de definição das estratégias e otimização



Legenda:

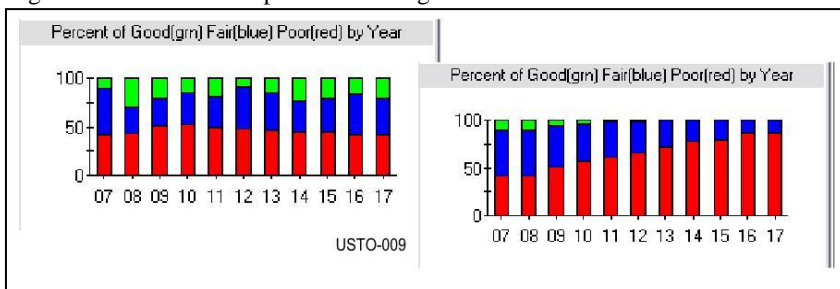
1. *Strategy Definition*: Definição de Estratégias
2. *Budget*: Orçamento
3. *Miles*: Milhas
4. *Entire Strategy*: Estratégia Inteira
5. *Costs by Year*: Custo por Ano
6. *Percent of Good (green) Fair (blue) Poor (red) by Year*: Percentagem por ano de: Bom (verde), Moderado (Azul), Péssimo (vermelho)
7. *Lane Miles of Activity Performed by Year*: Atividade por milha por ano
8. *Average RSL by Year*: Vida de Serviço Restante Média por ano

Fonte: RoadSoft-GIS (2009).

Ao comparar as duas estratégias, deve-se ter em mente se a estratégia escolhida melhorará a condição da rede rodoviária (percentagem de rodovias em bom estado aumenta ou diminui com o passar dos anos), se abordagem utiliza uma mistura de intervenções, CPM e RM, de forma a racionalizar o orçamento sem com isso ultrapassar o que está pré-estabelecido pelo órgão rodoviário.

A Figura 3.28 apresenta duas estratégias diferentes, em que a primeira (lado esquerdo) emprega preferencialmente manutenção preventiva e a segunda somente reconstrução (lado direito). Idealmente deveria se escolher a estratégia com maiores quilômetros em bom estado em relação ao tempo, mas nem sempre o órgão rodoviário apresenta os recursos necessários, sendo melhor o uso da primeira.

Figura 3.28 - Boa *versus* péssima estratégia



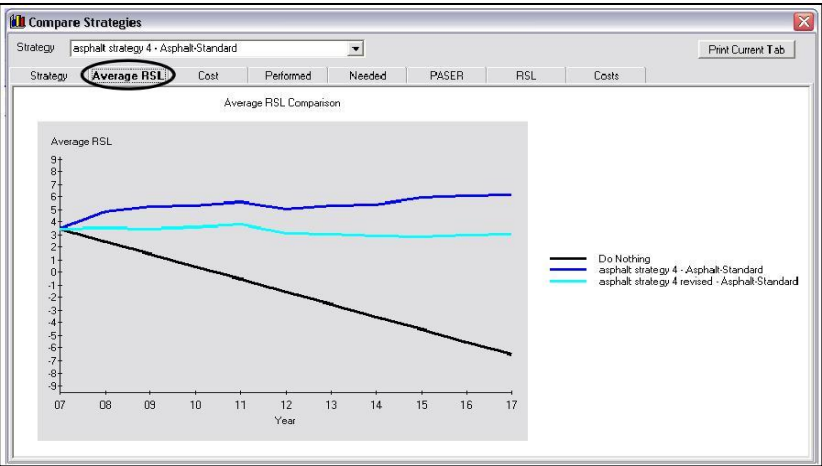
Legenda:

1. *Percent of Good (green) Fair (blue) Poor (red) by Year*: Percentagem por ano de: Bom (verde), Moderado (Azul), Péssimo (vermelho).

Fonte: RoadSoft-GIS (2009).

O Roadsoft-GIS gera gráficos que possibilitam uma melhor interpretação dos resultados quando comparadas duas ou mais estratégias diferentes, como dispostas na Figura 3.29.

Figura 3.29 - Comparação entre estratégias com relação à vida restante de serviço média



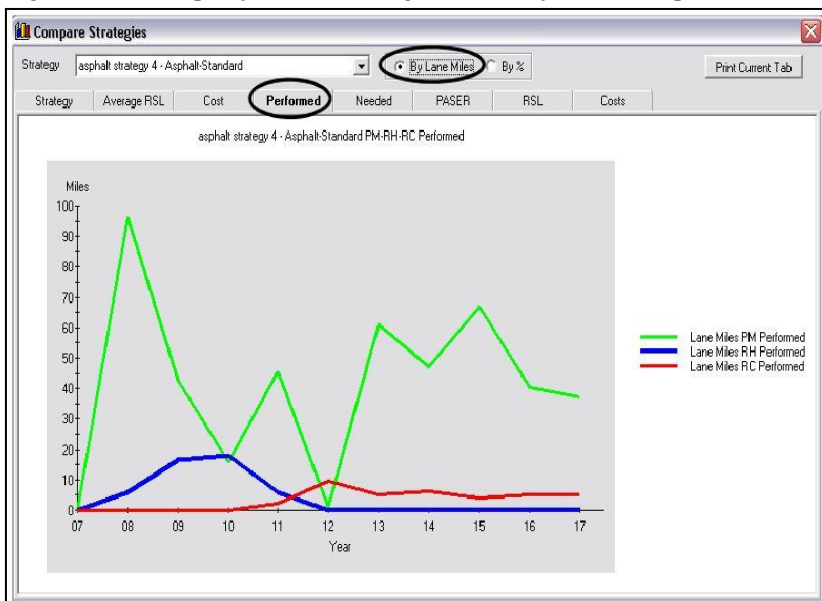
Fonte: RoadSoft-GIS (2009).

Figura 3.30 - Comparação entre estratégias com relação aos custos anuais



Fonte: RoadSoft-GIS (2009).

Figura 3.31 - Comparação entre estratégias com relação ao desempenho



Fonte: RoadSoft-GIS (2009).

A Figura 3.29 retrata a comparação visual do efeito que cada estratégia determina na média da vida de serviço restante (RSL) do pavimento da rede. A Figura 3.30 esta dividida em duas partes, do lado esquerdo ilustrando os custos iniciais para cada estratégia, e o lado direito ilustrando a comparação do custo total ao longo da vida do pavimento segundo cada estratégia.

A Figura 3.31 apresenta o número de milhas e/ou a percentagem total de milhas (dependendo do usuário ele pode escolher entre uma e outra opção) que necessitam de intervenção durante o período pelo qual a estratégia de intervenção esta sendo analisada. Uma estratégia boa apresenta os níveis de reconstrução diminuindo, níveis de manutenção preventiva diminuindo ate um nível estável e as necessidades de manutenção diminuindo.

4 METODOLOGIA

A metodologia para pesquisa deste objeto de estudo foi dividida em duas etapas. A primeira etapa consistiu no estudo do sistema de gerência PASER/RoadSoft-GIS. Este estudo incluiu um estágio realizado na Universidade Tecnológica de Michigan (Michigan Technological University), onde além de familiarizar-se com o sistema por meio de vários treinamentos, procedeu-se também o processo de “tropicalização” do sistema, através da formatação do sistema para os padrões Moçambicanos de gerenciamento rodoviário.

A segunda etapa consistiu no levantamento e análise de dados que constituem a rede rodoviária da Província de Maputo, em Moçambique. Foram utilizados dados disponibilizados pelo Departamento de Planificação, Departamento de Materiais da Autoridade Nacional de Estradas (ANE) e estudos existentes disponibilizados por empresas de consultoria, resultando em um histórico dos últimos 15 anos do setor rodoviário da Província de Maputo, em Moçambique.

De forma a obter melhor entendimento do estado dos pavimentos constituintes da rede rodoviária, foi necessário conhecer diversos parâmetros de referência, tais como:

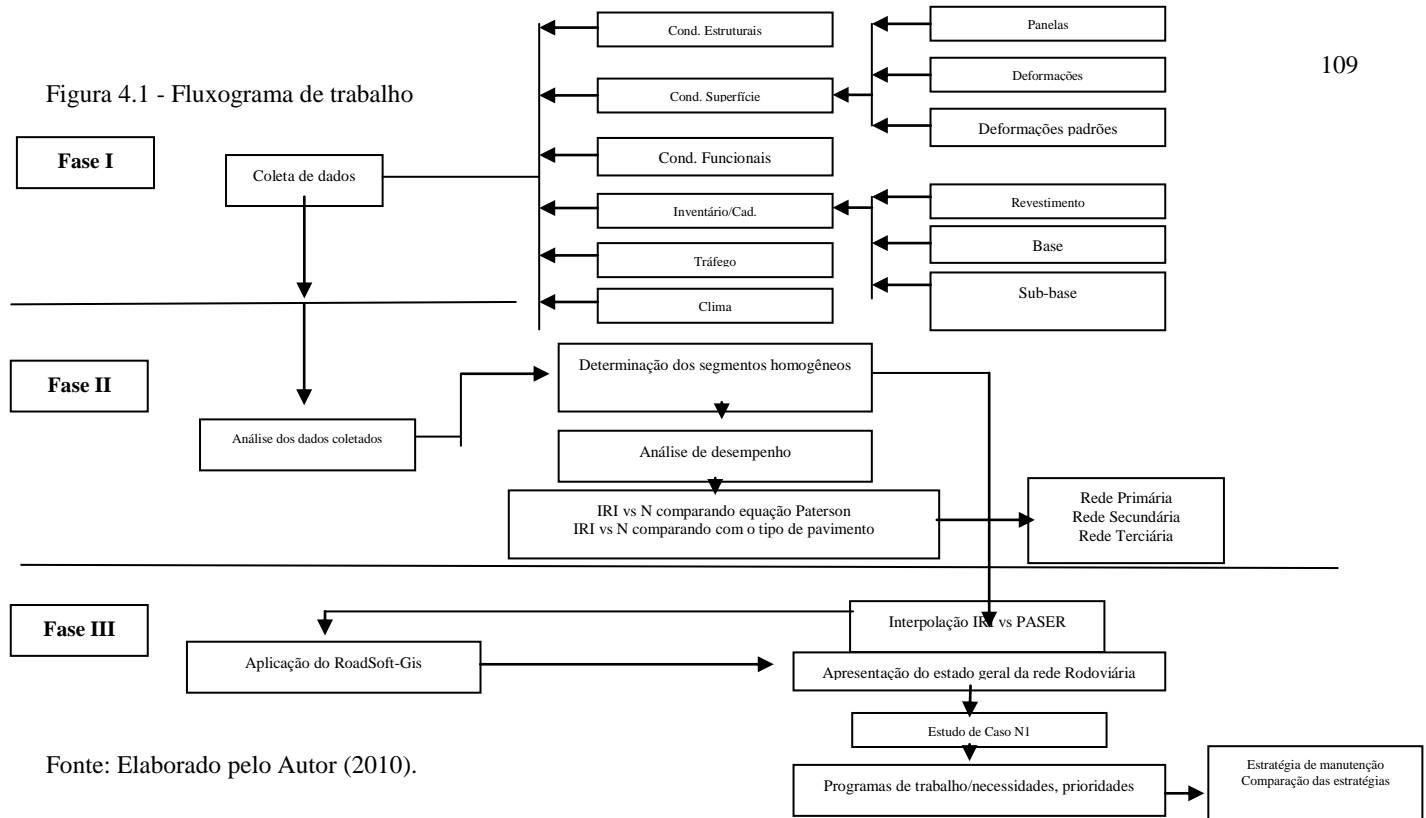
- Condições de Superfície;
- Condições Estruturais;
- Condições Funcionais;
- Tráfego

O fluxograma da Figura 4.1 apresenta todas as atividades permitindo conhecer a abrangência da pesquisa e possibilitando entender as interligações entre as diferentes fases do trabalho desenvolvido

A rede rodoviária da Província de Maputo possui características, que quando analisadas sob aspectos como geometria, estruturas dos pavimentos, tipos e constituição dos volumes de tráfego, entre outros aspectos, diferem de certa forma das características das rodovias do Brasil.

Assim durante a aplicação de algumas metodologias propostas pelo DNIT/DNER, foi necessário fazer algumas alterações ou adaptações para compatibilização com a realidade de Moçambique, visto que estas metodologias foram criadas especificamente para fins rodoviários da realidade Brasileira.

Figura 4.1 - Fluxograma de trabalho



Fonte: Elaborado pelo Autor (2010).

4.1 ETAPA I

Nesta seção serão apresentados os procedimentos normativos utilizados neste estudo para obter as informações necessárias para o melhor entender as condições estruturais, funcionais, superficiais e de tráfego dos pavimentos da rede rodoviária da província de Maputo.

4.1.1 Coleta de Dados

Para qualquer análise do estado de pavimentos é necessária à obtenção de dados. Para esta pesquisa a obtenção dos dados requereu uma coleta substancial de informações sobre a estrutura do pavimento, características geométricas, propriedades dos solos, a solicitação do tráfego (volumes e carregamentos) e a condição climática.

Estes dados foram coletados e agrupados da seguinte forma:

- Condições Estruturais;
- Condições Funcionais;
- Condições Superficiais;
- Solicitação do Tráfego;
- Condições Climáticas.

As próximas seções apresentam os métodos e procedimentos utilizados para o recolhimento e armazenamento dos dados.

4.1.2 Condições Estruturais (Levantamentos Defletométricos)

A avaliação da condição estrutural de um pavimento denota a sua capacidade de resistir à deterioração provocada pela passagem de cargas de tráfego. Portanto, tendo como objetivo obter informações que pudessem caracterizar o comportamento estrutural dos pavimentos foram realizados levantamentos defletométricos.

Estes levantamentos foram realizados através de ensaios de prova de carga, com o equipamento Portable Falling Weight Defletometer (PFWD) PRIMA 100 entre os meses de janeiro e dezembro de 2006. O intervalo entre as estações de levantamento correspondeu a 500 metros. A localização dos pontos de levantamento foi determinada conforme a metodologia do DNER PRO 273-96 (DNER, 2004), usando as premissas da Tabela 4.1.

As características gerais da estrutura dos pavimentos estão disponíveis no Anexo A.

Tabela 4.1 - Localização dos pontos de levantamento

LARGURA DA FAIXA DE TRÁFEGO (M)	DISTÂNCIA AO BORDO DO REVESTIMENTO (M)
2.70	0.45
3.00	0.60
3.30	0.75
3.50 ou mais	0.90

Fonte: DNER (2004).

A pista de rolamento tem como sua largura máxima de sete metros para rodovias pavimentadas e seis metros para rodovias não pavimentadas, por conseguinte, os pontos de levantamento em rodovias pavimentadas estavam localizados a cerca de 0,90 metros, e em rodovias não pavimentadas estavam localizadas a cerca de 0,60 metros da borda do revestimento respectivamente.

A carga pelo PFWD usada durante os levantamentos foi aproximadamente 228 lbf resultando numa pressão equivalente de 3.38 Mpa. A partir da queda de um conjunto de massas de uma altura pré-fixada, não excedendo 1,28 m, deflexões foram medidas nos geofones posicionados a distâncias de 0, 30, e 60 centímetros respectivamente. Estas deflexões correspondem a D_0 , D_{30} , D_{60} respectivamente, sendo a D_0 a deflexão recuperável máxima o parâmetro mais importante, uma vez que quanto maior for o seu valor, mais elástico ou resiliente é a estrutura do pavimento, sendo consequentemente maior o seu comprometimento a cada passagem de cargas. A Figura 4.2 mostra o equipamento PFWD utilizado na avaliação das deflexões para a pesquisa.

Figura 4.2 - Leitura de parâmetros defletométricos com PFWD



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Cabe salientar que os dados defletométricos apresentados nesta dissertação foram obtidos através de um estudo realizado junto a ANE, por uma empresa de consultoria entre os meses de janeiro a dezembro de 2006. Porém, estes dados foram correlacionados de acordo com as disposições de Philips e Freeman (2000) em que:

$$\text{PFWD} = 1,254 \text{ FWD}$$

4.1

$$R^2 = 0,90$$

Onde:

- PFWD: Valor equivalente PFWD;
- FWD: Valor obtido pelo FWD.

4.1.2.1 Capacidade estrutural

4.1.2.1.1 Cálculo do raio de curvatura e bacia de deformação

Para o cálculo do raio de curvatura empregou-se a fórmula clássica preconizada pelo DNER, conforme apresentada na Equação 4.3. Vale ressaltar que em vez do cálculo da deflexão a 25cm, segundo o método DNER ME – 24/94 (DNER, 1994), para a obtenção do raio de curvatura, por instrução do fabricante, usou-se as deflexões correspondentes ao afastamento de 60cm do ponto de aplicação de carga (D_{60}).

$$R = \frac{6250}{2(D_0 - D_{60})} \quad 4.2$$

Onde:

- R: Equivale ao raio de curvatura em centímetros;
- D_0 , D_{60} : Equivale às deflexões as distâncias 0 e 60 centímetros do centro de aplicação de carga;

Para o cálculo das bacias de defletométricas foi utilizada a fórmula da Equação 4.4, segundo as medidas normalizadas pela AASHTO (1993).

$$S = 15 \left[1 + 2 \frac{D_{30}}{D_0} - 2 \frac{D_{60}}{D_0} \right] \quad 4.3$$

Onde:

- S: área da bacia defletométrica;
- D_0, D_{30}, D_{60} : Deflexões as distâncias 0, 30, 60 centímetros do centro de aplicação da carga, (10^{-2} mm).

4.1.2.1.2 Determinação das espessuras dos pavimentos

Para determinar a espessura dos pavimentos deste estudo foram consultados projetos anteriores de reabilitação e reconstrução disponíveis na biblioteca e no Departamento de Materiais e Construção da ANE. Porém, é importante destacar que:

- Para a determinação das espessuras dos pavimentos pertencentes às rodovias N1, N2 e N3, os documentos consultados foram os relativos a projetos de manutenção

periódica que estavam ocorrendo naquele período;

- Para a determinação das espessuras dos pavimentos pertencentes às rodovias N2, R400, R401, N201, N202, pavimentos tipos que já haviam sido identificados em pesquisas anteriores;
- Para a determinação da espessura do pavimento pertencente à rodovia N200, que sofreu várias alterações na sua composição devido a várias reabilitações em vários trechos do pavimento, recorreu-se a consulta de pavimentos para rodovias secundárias conforme estipulado pela ANE;
- Para a determinação das espessuras dos pavimentos das rodovias pertencentes à rede terciária por serem na sua maioria não pavimentadas, utilizou-se os pavimentos tipos estipulados pela ANE.

O Anexo A apresenta as características básicas das espessuras tipo usadas nas estruturas dos pavimentos.

4.1.2.1.3 Cálculo do módulo resiliente (MR) e o número estrutural efetivo (SNEF)

Cabe salientar que o dispositivo PFWD PRIMA 100 possuía em seu próprio programa de obtenção de dados, o procedimento de cálculo dos valores do Módulo Resiliente e o Número Estrutural Efetivo, tendo como a base de cálculo o método preconizado pelo AASHTO (1998).

Módulo Resiliente

$$MR = \frac{0.24 \times P}{D_{60} \times R}$$

4.4

Onde:

- MR: Módulo Resiliente medido em Mpa;
- P: Força aplicada em KN;
- D60: Deflexão medida a 60 centímetros;
- R: Raio de Curvatura.

Número Estrutural Efetivo (SNEF)

O número estrutural é calculado segundo a metodologia

AASHTO (1998) incluída no próprio sistema de levantamento pela Equação 4.6:

$$SNeff = 0,00045D \sqrt[3]{E_p}$$

4.5

Onde:

- SNeff: Número Estrutural Efetivo em centímetros;
- Ep: Espessura total do pavimento em centímetros, calculada pela equação:

$$D = \text{Espessura 1} + \text{Espessura 2 das camadas pertencentes aos pavimentos};$$
- Ep: é o módulo de elasticidade do pavimento calculado pela Equação 4.7:

$$E_p = \frac{f(1-\nu^2) \times \sigma_0 \times a}{D_0}$$

4.6

Onde:

- Ep: Módulo de Elasticidade
- v: Coeficiente de Poisson;
- σ_0 Carga em (Kpa);
- D_0 : Deflexão
- a: raio da placa de carga;
- $D_0(r)$: Deflexão no centro da placa;
- f: fator que depende da distribuição da tensão;

Onde:

f= 2 (uniforme)

f= $\pi/2$ (placa rígida)

f= 8/3 (material granular)

f= 4/3 (material coesivo)

4.1.3 Condições Funcionais (Levantamentos de Irregularidade Longitudinal)

Os levantamentos da Irregularidade Longitudinal foram realizados com o intuito de analisar o estado dos pavimentos, do ponto de vista do usuário, compreendendo os aspectos que afetam a qualidade do rolamento no que se refere ao seu conforto e alteração do custo de

transporte, avaliado principalmente pelo custo operacional dos veículos.

O procedimento de levantamento das irregularidades longitudinais foi realizado através de um perfilômetro a laser denominado por Road Surface Profiler (RSP), desenvolvido pela Dynatest. Este dispositivo permite o cálculo do Índice Internacional de Irregularidade (IRI), para velocidades compreendidas entre 20 a 50 km/h, sendo que a captura dos valores das irregularidades é realizado pelo registo da informação no computador instalado no veículo em circulação, a cada 500 metros por este percorrido.

As leituras realizadas pelo perfilometro laser são obtidas por meio dos sensores laser e acelerômetros localizados em uma viga colocada na parte frontal do veículo, permitindo o registro da irregularidade na trilha da roda, em termos de IRI (m/km), em intervalos de 10, 50, 100, 250.

Embora no Brasil a escala padrão de medição da irregularidade seja o QI, nesta pesquisa foram usadas às medições de IRI. Isto se deve ao fato de que, na região a África Austral, os métodos de levantamentos não compilam o valor de QI.

4.1.4 Condições Superficiais

Tendo como objetivo a realização de análises subjetivas com base no valor de serventia atual, de modo a indicar o grau de conforto na época da observação, esta pesquisa adotou o sistema PASER (Pavement Surface Evaluation and Rating), sistema de avaliação visual de pavimentos desenvolvido pela Universidade de Wisconsin nos Estados Unidos.

Este sistema possui como principal característica a classificação dos pavimentos consoante ao tipo de revestimento e/ou estrutura e os tipos de defeitos de superfície. Para a classificação das rodovias não pavimentadas foram utilizadas as premissas apresentadas nos manuais para Gravel Roads – Rodovias com Revestimento Primário, o manual de Estradas Melhoradas (Gravel Roads PASER Manual e Unimproved Roads PASER Manuals). Para a classificação de rodovias pavimentadas foram utilizados os procedimentos do manual PASER para as rodovias asfaltadas e o manual PASER para as rodovias com Tratamento Superficial (Asphalt PASER Manual e Sealcoat PASER Manual).

A classificação consiste na atribuição de uma nota que varia de 1 a 10, péssimo a excelente respectivamente. A atribuição desta classificação se insere em três principais categorias para com as quais um tipo de intervenção é necessário, conforme a explanação abaixo:

- Escala PASER entre 8-10: Requerem manutenção rotineira
- Escala PASER entre 5-7: Requerem manutenção preventiva tendo como propósito proteger a estrutura do pavimento e retardar a deterioração do pavimento;
- Escala PASER entre 1-4: Requerem melhoramentos estruturais.

Para a atribuição das escalas PASER uma máquina filmadora com alta resolução foi fixada em um elemento metálico que se encontra fixo no para-brisas de um veículo, conectado ao computador através de uma carta específica que emite os dados da filmadora para o *software* instalado no computador, com nome “FOTOCAP2005”. Neste *software* foram registrados os principais dados superficiais das rodovias, assim como, o nome e local de início e fim da mesma. Foi possível verificar que as fotografias captadas são guardadas e enumeradas de acordo com a sua localização quilométrica (Ex.: R401 05+200). Este veículo se deslocava a uma velocidade de 40 km/h. A Figura 4.3 mostra a máquina filmadora utilizada nesta pesquisa.

Figura 4.3 - Máquina filmadora



Fonte: Dados da Pesquisa (2010).

A Figura 4.4 mostra o aspecto superficial de uma rodovia terciária.

Figura 4.4 – Aspecto da Rodovia terciária R401, no Km 05+200



Fonte: Dados da Pesquisa (2010).

4.2 ETAPA II

4.2.1 Análise dos Dados Coletados

O resultado obtido pela coleta dos dados da condição estrutural, superficial e funcional dos pavimentos permitiu através do recurso a análise estrutural, funcional e superficial, num processo minucioso, definir o estado do pavimento.

Desta forma, os segmentos foram em primeira fase divididos em segmentos homogêneos, sendo que para cada segmento foram calculadas, as deflexões de projeto e admissíveis, os índices de irregularidade médios e o número de eixo equivalente médio.

4.2.2 Divisão dos Segmentos Homogêneos

Para uma análise mais detalhada foram compilados todos os dados referentes às condições estruturais, funcionais e superficiais dos pavimentos com o objetivo de subdividi-los em segmentos homogêneos.

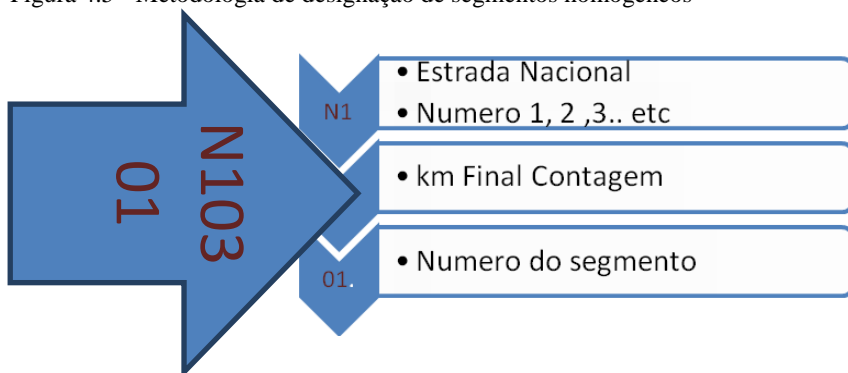
A extensão total de cada pavimento pertencente a uma rodovia foi subdividida em segmentos que fossem considerados homogêneos. Esta noção de homogeneidade está relacionada com as condições

estruturais e funcionais do pavimento, que dependem da estrutura do pavimento (revestimento, base, sub-base, subleito) e do tráfego atuante através das cargas dinâmicas que causam deformações, diminuindo o conforto do usuário ao rolamento pelo aumento da irregularidade longitudinal.

Para determinação dos segmentos homogêneos utilizou-se o método da AASHTO das diferenças acumuladas, conforme as etapas referenciais, indicadas a seguir:

- 1 Os pavimentos são divididos em segmentos em função da estrutura do pavimento;
- 2 Os segmentos são divididos em função do tráfego;
- 3 Os segmentos foram divididos em função das deflexões, e finalmente divididos em função da irregularidade longitudinal, através do IRI. A Figura 4.5 apresenta a nomenclatura utilizada para identificar os segmentos homogêneos.

Figura 4.5 - Metodologia de designação de segmentos homogêneos



Fonte: Dados da Pesquisa (2010).

Sendo assim, em cada rodovia passou a existir segmentos com características semelhantes, de forma que análises estrutural, funcional e superficial pudessem ser realizadas, para que a correta interpretação dos dados dos levantamentos fosse obtida.

4.2.3 Determinação do Número N

O número e tipo de veículos que compõe a frota moçambicana têm grande influência na caracterização dos volumes de tráfego da rede rodoviária de Moçambique.

A análise dos fluxos das composições de tráfego permitiu avaliar o estado de solicitação que os pavimentos estão submetidos, de forma a definir as interações causadas das cargas dinâmicas e o estado atual dos pavimentos. Por conseguinte, nesta pesquisa foram definidos os seguintes elementos relativos ao tráfego:

- Tráfego médio diário anual;
- Classificação do tráfego;
- Cálculo do N.

4.2.3.1 Tráfego médio diário anual

A determinação do Tráfego Médio Diário Anual foi obtida através da análise das séries históricas dos dados de campanhas de contagem realizadas pela ANE, por um período de 11 anos.

Uma vez analisadas as séries históricas, as taxas de crescimento foram determinadas e os volumes de tráfego foram determinados, tendo em conta, cada segmento homogêneo segundo as equações 4.8 e 4.9:

Volume Diário Médio

$$\text{VDM}_f = \text{VDM}_0 (1+t)^P \quad 4.7$$

Onde:

- VDM_f : Volume diário médio de tráfego no último ano do período estudado;
- VDM_0 : Volume diário médio de tráfego no primeiro ano do período;
- P: Período de estudo;
- t: Taxa de crescimento.

Sendo t determinado por:

$$t = \frac{\ln V_1 - \ln V_0}{t_1 - t_0} \quad 4.8$$

Onde:

- V_1 : Volume diário médio no ano final do período de estudo;
- V_0 : Volume diário médio no início do período;
- T_2 : Ano final;

T_0 : Ano inicial.

4.2.3.2 Procedimento de contagem de tráfego

As contagens de tráfego foram realizadas em postos localizados em zonas de maior concentração de volumes de tráfego já identificados pela ANE para cada uma das rodovias pertencentes à rede rodoviária da Província de Maputo.

O período de contagem foi de 17 horas por dia, começando às cinco horas da manhã e terminando às 22 horas e depois extrapolados para 24 horas de contagem. A contagem foi realizada de forma manual, sendo que os contadores de tráfego registravam o número e tipo de veículo, conforme demonstra a Figura 4.6.

Figura 4.6: Contagem manual de tráfego.



Fonte: dados da Pesquisa, 2010.










4.2.3.3 Classificação do tráfego

A frota de veículos que circulam em Moçambique é basicamente dividida em três categorias principais:

- Veículos de passeio ou automóveis: correspondem aos veículos de passeio e utilitários;
- Veículos Médios: correspondem aos Ônibus, Caminhões Leves e Médios;
- Veículos Pesados: correspondem a Caminhões Pesados, Semirreboques e Reboques.

A Tabela 4.2 apresenta uma síntese das características apresentadas acima.

Tabela 4.2 - Classificação de Veículos em Moçambique (Análise de Tráfego)

TIPO DE VEÍCULO	CÓDIGO	NOME	DESCRIÇÃO	CATEGORIA
	A	Automóvel		Leve
	B	Automóvel 4 x 4	Exe: Toyota Land Cruiser, Land Rover	Leve
	C	Veículo Leve de Transporte de Carga	Pick-ups, Vans, Caminhões (eixo traseiro simples)	Leve
	D	MiniBus	<20 passageiros (eixo traseiro simples)	Leve
	E	Ônibus	20 ou mais passageiros, com o peso não superior a 3,5 tons	Médio
	F	Caminhões Rígidos (C.2G)	Com 3 ou mais eixos, e peso superior a 3,5 tons	Médio
	G	Caminhões Rígidos e Articulados (C-3-4)	Com 3 ou 4 eixos com o peso superior que 3,5 tons	Pesado
	H	Caminhões Articulados	Com o mínimo de 5 eixos e peso superior a 3,5 tons	Pesado
	I	Tratores/Utilitário	Com ou sem trailer	Pesado

Fonte: ANE (2003).

Para a pesquisa verificou-se a necessidade de estabelecer uma correlação com a nomenclatura em vigor no Brasil, de forma a melhorar o entendimento, e possibilitar os cálculos dos volumes tráfego e Número N, segundo a metodologia do DNER, conforme apresentada na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Correlação da nomenclatura de Moçambique e do Brasil

CÓDIGO	BRASIL	NUM. EIXOS	PESO UNI. (TON.)	PESO (TF)
A, B, C, D	Automóvel	2	8.2	4
E, F	Caminhões Médios	2-3	8,2	24.6
G	Semirreboques	8	8.2	53
H, I	Reboques, treminhões/ Tratores	>9	8.2	>73.8

Fonte: Dados da Pesquisa (2010).

4.2.3.4 Cálculo do número N

De forma a entender a dinâmica de transferência de cargas dinâmicas através do fluxo de veículos para o pavimento, os parâmetros de tráfego foram determinados conforme a metodologia DNIT (DNIT, 2006), de forma a obter o número equivalente de operações do eixo padrão (N).

Segundo a metodologia do DNER, o número N é calculado pela fórmula.

$$N = 365 \times VDM_m \times p \times FC \times FE \times FR \quad 4.9$$

Onde:

- N : Número de solicitações do eixo padrão 8,2 ton.;
- VDM_m : Volume diário médio de tráfego no período de projeto, em veículos/dia;
- p : Período de projeto, em anos;
- FC : Fator de carga;
- FE : Fator de eixo;
- FR : Fator climático regional.

4.2.3.4.1 Cálculo do fator de carga (FC)

Foram utilizados os fatores de carga do método de dimensionamento do DNER, desenvolvidos pelo USACE, pois avaliam os efeitos do carregamento na deformação permanente apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Fatores de carga equivalentes

TIPO DE EIXO	FAIXA DE CARGAS (T)	EQUAÇÕES (P EM TF)
Dianteiro simples	0 - 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
Traseiro simples	> 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 - 11	$FC = 1,592 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	> 11	$FC = 1,528 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 - 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	> 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$
P = Peso bruto total sobre o eixo		

Fonte: DNIT (2006).

4.2.3.4.2 Cálculo do Fator de Eixo (FE)

Sendo que o fator de eixo no sentido dominante do tráfego, ele foi calculado segundo a Equação 4.10:

$$FE = p_2 \times 2 + p_3 \times 3 + \dots + p_n \times n \quad 4.10$$

Onde:

- FE: fator de eixo;
- p_2 : porcentagem de veículos de dois eixos;
- p_3 : porcentagem de veículos de três eixos;
- p_n : porcentagem de veículos de n eixos.

4.2.3.4.3 Cálculo do Fator Climático Regional (FR)

Cabe ressaltar que o fator climático regional foi obtido segundo as premissas da metodologia do DNER, considerando que a província de Maputo possui solos arenosos e permeáveis, conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Fator climático regional

ALTURA MÉDIA ANUAL DE CHUVA (MM)	FATOR CLIMÁTICO REGIONAL (FR)
Até 800	0,7
De 800 a 1500	1,4
Mais de 1500	1.8

Fonte: DNIT (2006).

4.2.4 Análise Funcional

Para cada segmento homogêneo foi realizada uma análise estatística, através do seguinte procedimento:

- a) Tabulação dos valores individuais do IRI;
- b) Cálculo da média aritmética dos valores individuais para cada segmento homogêneo.

$$IRI_{Med} = \frac{\sum IRI_i}{n} \quad 4.11$$

Onde:

- n - número de valores de IRI por cada segmento

4.2.5 Análise de Desempenho dos Pavimentos

Para quantificar a vida de serviço restante dos pavimentos pertencentes à rede rodoviária estudada, modelos foram usados para estabelecer a inter-relação entre as características dos mesmos as suas condições atuais e a evolução com tempo, tendo em conta as cargas de tráfego e as condições climáticas.

A análise constituiu na comparação da evolução dos valores das cargas de tráfego, dos valores de deflexões obtidas nos levantamentos e dos valores de IRI para cada segmento homogêneo obtido. A análise foi efetuada com os valores das variáveis Número N, Deflexões e IRI para os anos de 2000, 2003 e 2006.

O cálculo do número N foi realizado de acordo com a descrição em 4.2.3. Foram considerados valores acumulados de N. Isto significa que os valores de N no ano 2000 constituem nos valores acumulados desde o ano 1995 até o ano 2000. Para o ano de 2003 realizou-se a mesma abordagem significando que o valor de N do ano 2003 seria o acúmulo desde ano 2000, e assim também para 2006.

De forma análoga, foram determinadas as taxas de crescimento com base de dados de tráfego médio diário anual desde 1995 até 2006.

As deflexões foram obtidas por meio do procedimento descrito em 4.1.2 através de levantamentos realizados no mesmo período de 2000 a 2006, para cada segmento homogêneo.

4.2.5.1 Evolução IRI versus N comparando com Paterson

Uma vez obtidos os valores de número N, das deflexões e de IRI através dos levantamentos e dos procedimentos descritos anteriormente, foi feita na comparação do crescimento dos valores levantados com aqueles previstos ou estimados pela equação estabelecida em Paterson (1986).

$$IRI = [IRI_0 + 72,5(1 + SNC)^{-4,99} \times NE \ 4] \times e^{0,0153 \ AGE} \dots\dots\dots 4.12$$

Em que:

- IRI_0 : Irregularidade longitudinal inicial, em m/km;
- SNC: Número Estrutural Corrigido;
- NE4: Número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 t, calculado pelo método da AASHTO, em milhões por faixa;
- AGE: Idade do pavimento desde a construção, reabilitação ou reconstrução, em anos.

Os pavimentos foram analisados de forma individual comparando a evolução do número N e de IRI, no período de 2000 a 2006, e o obtido pelo modelo de Paterson.

Para o uso do modelo de Paterson utilizou-se as seguintes premissas:

- IRI_0 : Obtida no ano 2000 (primeiro ano de levantamento), em m/km;
- SNC: Obtido como demonstrado em 4.1.2;
- NE4: Obtido como demonstrado acima;
- AGE: Idade do pavimento desde 2000 até 2006.

4.2.5.2 Evolução IRI versus N comparando com o tipo de Revestimento do Pavimento

Esta análise constituiu a verificação da evolução do IRI e o número N, tendo em conta o tipo de revestimento do pavimento.

Para a análise agrupou-se os segmentos homogêneos de acordo com a estrutura. Todos os segmentos pertencentes a uma mesma rede com a mesma estrutura foram tabulados com intuito de verificar o quanto a evolução do tráfego estava diretamente relacionada com a irregularidade e, como esta influi no tipo de pavimento

(revestimento/estrutura).

Os tipos de revestimentos predominantes são o Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) e o Tratamento Superficial Duplo (TSD) para as rodovias pavimentadas e para as não pavimentadas, solo compactado a 98% da energia AASHTO modificada.

4.3 ETAPA III

Com as análises estruturais e funcionais realizadas e com a posse dos resultados obtidos pela estimativa da vida restante do pavimento, procedeu-se ao uso do programa computacional de gerenciamento rodoviário Roadsoft-GIS.

O programa RoadSoft-GIS ajudará a entender a conjuntura final da rede rodoviária aqui analisada, através da estimativa de vida restante dos pavimentos e determinação da linha de tendência da deterioração das rodovias.

Para obtenção da linha de tendência o programa usa modelos de previsão dos pavimentos baseados nas avaliações superficiais, efetuadas com a metodologia do sistema PASER, no Tráfego Médio Diário Anual e na estrutura dos pavimentos.

Salienta-se que este programa é constituído por um sistema de camadas de mapas georreferenciados. Sendo que a maioria dos mapas utilizados nesta pesquisa não estava georreferenciados e tiveram que passar por um processo de inserção de suas coordenadas referenciadas com recurso de programas computacionais como Map Reference Generation System RoadSoft (MrGens) e o ArchGIS. Este processo de georreferenciamento dos mapas encontra-se descrito no relatório de estágio na instituição na Michigan Technological University.

É importante salientar que, o sistema RoadSoft-GIS, está programado no sistema de medição americano. Todas as incorporações de dados numéricos tiveram que ser previamente convertidos para este sistema. Por exemplo, a extensão das rodovias em milhas por faixa no sistema americano foi convertida em quilômetros por faixa. (1 milha equivale a 1,6 quilômetros).

Aplicação e consequente análise do estado da rede constituíram na realização do seguinte:

- Correlação IRI *versus* PASER: constitui-se na utilização dos valores obtidos de IRI para o ano de 2006 e estabelecer uma correlação linear com PASER, obtendo-se os dados de entrada de PASER para o RoadSoft-GIS. Estes valores de PASER mais

os valores obtidos pelos levantamentos PASER, realizados em 2007, permitiram obter uma análise mais acurada das condições da rede.

- Estudo de Caso Estrada Nacional N1: Da rede rodoviária retirou-se a rodovia com maiores cargas solicitantes (tráfego) e procurou estabelecer algumas estratégias de manutenção, considerando os custos de manutenção e reconstrução descritos em 2.3.1.

4.3.1 Interpolação IRI *versus* PASER

De forma a incorporar os dados obtidos pelos levantamentos realizados no ano de 2006 e de tornar a pesquisa mais abrangente aos dados fornecidos pela ANE e o MPOH, este trabalho utilizou dados de IRI como parâmetro de entrada para correlação de valores de atribuição do Sistema PASER.

Para tal, foi necessário desenvolver uma relação entre os valores de IRI e os valores de PASER. A metodologia PASER varia de 1 a 10, e que para valores de 10, 9, 8 o pavimento se encontra em bom estado estrutural e funcionalmente, e para valores de 7, 6, 5 o pavimento começa apresentar problemas que afetam a sua estrutura requerendo uma intervenção preventiva de manutenção e para valores de 4, 3, 2, 1 o pavimento já está em condição de estado de ruptura, requerendo uma intervenção mais profunda como reabilitação e ou uma reconstrução. Tentou-se apresentar uma correlação com os valores de IRI apresentado pela Metodologia do DNER para classificação do estado funcional e superficial dos pavimentos e os valores do PASER. A Tabela 4.6 apresenta uma breve descrição da metodologia acima descrita.

Tabela 4.6: Caracterização dos segmentos estudados (Rodovias da Rede Terciária)

CONCEITO	IRI	PASER	TIPO DE INTERVENÇÃO
Bom	0-3,5	10-8	Construção ou reforço novo, limpeza de canais de drenagem, pouca manutenção de rotina.
Regular	3,5-4,5	7-5	Envelhecimento da superfície, manutenção preventiva e rotina ajudariam a aumentar a vida de serviço restante da estrutura do pavimento.
Pobre	>4,5	4-1	Capacidade estrutural ameaçada, necessária uma intervenção mais profunda de forma a devolver a vida de serviço restante do pavimento, reabilitação e ou reconstrução.

Fonte: Dados da Pesquisa (2010).

Foram plotados graficamente os resultados da irregularidade longitudinal projetada no ano 2006, obtidos pelos levantamentos de campo, com os dados do levantamento PASER de 2006. Uma vez plotados os valores de IRI e PASER, os valores foram comparados com os resultados da equação de Paterson, com intuito de obter um melhor entendimento do estado dos pavimentos e determinar o estado atual de deterioração dos pavimentos pertencentes à rede rodoviária da Província de Maputo, em Moçambique.

Para a realização desta comparação foram plotados em gráficos os valores obtidos de IRI pela equação de Paterson de IRI e os valores de PASER obtidos em 2006 e se estabeleceu uma correlação linear entre os mesmos.

Colocando desta maneira, observou-se que o experimento descrito neste trabalho teria um embasamento empírico, atribuindo uma correlação linear, utilizando como variáveis a irregularidade longitudinal e as avaliações PASER.

4.3.2 Estudo de Caso N1

Sendo a Estrada Nacional número “Um” (N1) a rodovia mais importante e de maior volume de tráfego, o estudo procurou estabelecer quais poderiam ser as intervenções mais indicadas para melhorar o estado da rodovia, tendo em conta os custos de manutenção apresentados no Capítulo 2.

Dessa forma, utilizou-se primeiramente como dados de entrada no RoadSoft-GIS a seguinte metodologia:

- Dividiu-se a rodovia em segmentos homogêneos;
- Incorporaram-se os valores obtidos pela interpolação linear IRI x PASER, para cada segmento homogêneo;
- Foram adicionados os valores dos levantamentos PASER em 2007 e 2008;
- Incorporaram-se os valores do tráfego diário médio para cada segmento homogêneo;
- Incorporou-se o tipo de estrutura para cada segmento homogêneo.

Em seguida procedeu-se com análise do estado da rodovia através do recurso aos modelos do RoadSoft-GIS. Nesta perspectiva, estabeleceu-se os seguintes objetivos:

- Obtenção da vida restante de serviço em 2008 (ano que o

programa foi rodado) através da aplicação do RoadSoft-GIS;

- Fixando a vida restante de serviço do pavimento e estabelecendo um período de análise de deterioração de 20 anos (2000 a 2019), aplicando diversos tipos de intervenções como selagem de trincas, tratamentos superficiais duplos e simples e reconstrução.

Finalizando, uma análise entre estes resultados foi realizada para verificar quais das intervenções seriam as mais adequadas tendo em conta a disponibilidade do orçamento do órgão rodoviário Moçambicano. Sendo assim, estabeleceu-se três estratégias que se adequassem às atuais realidades de abordagem de manutenção rodoviária em Moçambique, com os seguintes objetivos:

- Estratégia 1 - ANE 1: Consiste em uma avaliação durante um período de 20 anos, em que as intervenções de manutenção são esporádicas, devido a insuficiente disponibilidade financeira. Esta se assemelha as disposições de acordo com o descrito em 2.3.1
- Estratégia 2 - ANE 2: Consiste em uma avaliação também durante uma período de 20 anos, em que nos primeiros anos existe uma disponibilidade financeira mas as escolhas nos tipo de intervenções são as mais extremas, típicas de um órgão rodoviário com algumas deficiências de planeamento, o que também é um cenário parecido com a autoridade rodoviária em Moçambique conforme em 2.3.
- Estratégia 3 - de forma comparativa e ao executar o programa RoadSoft-GIS apresenta uma alternativa como otimização entre as duas apresentadas, considerando-se a mesma abordagem mas abrangendo todos segmentos-homogêneos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados dos levantamentos realizados nos anos 2006, 2007 e 2008, sua análise e interpretação à luz da metodologia apresentada no Capítulo 4 Metodologia.

5.1 APRESENTAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS

Neste trabalho foram analisados 1.421 quilômetros de rodovias pertencentes à rede rodoviária da província de Maputo. Estas representam o equivalente a 81% de toda rede compreendendo as redes primária, secundária e terciária. As rodovias pertencentes à rede Vicinal não foram contempladas no estudo devido a pouca informação e dados disponíveis pela ANE e pelo MOPH.

Estes 1.421 quilômetros representam um total de 29 rodovias, dos quais a luz da metodologia da AASHTO das diferenças acumuladas foram divididos em 93 segmentos homogêneos. Entre estes, 24 segmentos pertencem à rede primária, 14 a rede secundária e os 55 restantes à rede terciária.

Para os segmentos selecionados foram pesquisados os históricos de intervenção nos pavimentos, bem como as demais informações necessárias para caracterização dos pavimentos.

As Tabelas 5.1 a 5.8 apresentam o resumo das principais características dos segmentos em estudo, levando em consideração a estrutura do pavimento, o tráfego solicitante e os parâmetros deflexões e IRI. No Apêndice A, encontra-se o método de obtenção e o processo divisão das rodovias em segmentos homogêneos.

5.1.1 Tráfego

Os volumes de tráfego em Moçambique são pequenos comparados com os encontrados no Brasil. Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE, 2000) classifica-se o tráfego como:

- TMDA maior que 240, Tráfego Pesado;
- TMDA entre 100 e 240, Tráfego Médio;
- TMDA abaixo de 50, Tráfego Baixo.

A rodovia com tráfego mais intenso é a rodovia N1 com TMDA médio superior a 1.000 veículos por dia o que comparando com qualquer rodovia de pequeno porte no Brasil é considerado como baixo

tráfego. O Apêndice B apresenta as contagens de tráfego para as diferentes rodovias pertencentes às redes primárias, secundárias e terciárias.

5.1.2 Estrutura de Pavimento

Dentre as estruturas de pavimento integrantes da rede rodoviária primária observa-se que a camada de rolamento é essencialmente constituída por Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CBUQ) e Tratamento Superficial Duplo (TSD). Observa-se ainda que para camadas de base e sub-base a predominância de Bases Granulares (Brita Graduada Simples e Macadame Hidráulico) e Solos Tratados com Cimento (Solo Cimento) respectivamente.

No que se refere às rodovias secundárias observou-se que quando pavimentadas, há predominância de Tratamentos Superficiais Duplos, sendo que parte da extensão da rodovia N200 tem camada de rolamento com Tratamento Superficial Simples (TSS).

Para as rodovias terciárias, nota-se a predominância de rodovias sem camada de rolamento (rodovias não pavimentadas). Quando se verifica pavimentos com camada de rolamento, a camada é construída por Tratamentos Superficial Duplo e Concreto Asfáltico Usinado a Quente. As Tabelas 5.1 a 5.6 apresentam um resumo das estruturas de pavimentos para as redes: primária, secundária e terciária.

A Tabela 5.7 apresenta o resumo das características gerais dos segmentos homogêneos da rede primária e secundária estudada. A Tabela 5.8 apresenta as características gerais dos segmentos homogêneos da rede terciária.

Tabela 5.1 - Estrutura dos pavimentos da rede primária

Rede	Rod	Estrutura do Pavimento							
		Seg. Hom.	Rev	Esp (mm)	Base	Esp (mm)	Sub-base	Esp(mm)	Subleito
Rede Primária	Estrada Nacional N 1	N10301	CAUQ	13	Solo-Cimento	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		N10902							
		N11403	CAUQ	13	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		N12804	CAUQ	50	Macad Hidráulico	150	Solo Cimento	150	Saibro
		N14205	CAUQ	63	Macad Hidráulico	175	Solo-Cimento	125	Saibro
		M15406							
		N18107							
		N18508							
		N110709							
		N112410							
		N113411							
	Estrada Nacional N 2	N20401	CAUQ	63	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		N21402							
		N22403							
		N24104							
		N24805	TSD	13	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		N25706							
		N26407							
	Estrada Nacional N 3	N30401	TSD	63	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		N30902							
		N31403							
		N31904							
		N32205	TSD	13	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		N32606							
		N33107	CAUQ	13	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro

Fonte: Dados de pesquisa (2010).

Tabela 5.2 - Estrutura dos pavimentos da rede secundária

Rede	Rod	Estrutura do Pavimento							
		Seg. Hom.	Rev	Esp (mm)	Base	Esp (mm)	Sub-base	Esp (mm)	Subleito
Rede Secundária	Estrada Nacional N200	N20009001	Saibro Compactado 98 Mod AASTHO 600 mm						
		N20002502							
		N20004003							
		N20052004							
		N20068005	CAUQ	7,5	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		N20084006	Saibro Compactado 98 Mod AASTHO 600 mm						
		N20010007							
		N20011808							
		N20013409							
	Estrada Nacional N 201	N20100801	TSD	13	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		N20101302							
		N20101903	CAUQ	13	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		N20102304							
		N2020401	CAUQ	30	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro

Fonte: Dados de pesquisa (2010).

Tabela 5.3 - Estrutura dos pavimentos da rede terciária

Rede	Rod	Estrutura do Pavimento							
		Seg. Hom.	Rev	Esp (mm)	Base	Esp (mm)	Sub-base	Esp (mm)	Subleito
Rede Terciária	Estrada Regional R400	R 400701	TSD	13	Macad Hidráulico.	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		R 401002							
		R 401603							
		R 402104	CAUQ	63	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		R 402605							
	Estrada Regional R401	R 4010501	CAUQ	63	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		R 4021302							
		R 4011903							
		R 4012904							
		R 4013905							
		R 4014206	TSD	13	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		R 4014607							
	Estrada Regional r402	R 4021001	CAUQ	13	Macad Hidráulico	150	Solo-Cimento	150	Saibro
		R 4023402							
		R 4026303	CAUQ	63	Macad Hidráulico	175	Solo-Cimento	125	Saibro
		R 4029504							

Fonte: Dados de pesquisa (2010).

Tabela 5.4 - Estrutura dos pavimentos da rede terciária

Rede	Rod	Estrutura do Pavimento							
		Seg. Hom.	Rev	Esp (mm)	Base	Esp (mm)	Sub-base	Esp (mm)	Subleito
Rede Terciária	Estrada Regional R403	R 4030401	Saibro Compactado 98 Mod AASTHO 600 mm						
		R 4031002							
		R 4033403							
		R 4034203							
	Estrada Regional R404	R 4040701	Saibro Compactado 98 Mod AASTHO 600 mm						
		R 4041452							
	Estrada Regional R405	R 4052101	Saibro Compactado 98 Mod AASTHO 600 mm						
		R 4053202							
		R 4054103							
		R 4054804							
		R 4055205							
		R 4061201	Saibro Compactado 98 Mod AASTHO 600 mm						
		R 4062102							
		R 4064003							
		R 4065404							
		R 4067005							

Fonte: Dados de pesquisa (2010).

Tabela 5.5 - Estrutura dos pavimentos da rede terciária

Rede	Rod	Estrutura do Pavimento							
		Seg. Hom.	Rev	Esp (mm)	Base	Esp (mm)	Sub-base	Esp (mm)	Subleito
Rede Terciária	Estrada Regional R407	R 4070901	CAUQ	63	Macad Hidráulico	175	Solo-Cimento	125	Saibro
		R 4071302	Saibro Compactado 98 Mod AASTHO 600 mm						
		R 4072204							
	Estrada Regional R408	R 4080801	Saibro Compactado 98 Mod AASTHO 600 mm						
		R 4081802							
		R 4083103							
		R 4084704							
		R 4085705							
		R 4086006							
	Estrada Regional R409	R 4090601	Saibro Compactado 98 Mod AASTHO 600 mm						
		R 4091302							

Fonte: Dados de pesquisa (2010).

Tabela 5.6 - Estrutura dos pavimentos da rede terciária

Rede	Rod	Estrutura do Pavimento							
		Seg. Hom.	Rev	Esp (mm)	Base	Esp (mm)	Sub-base	Esp (mm)	Subleito
Rede Terciária	Estrada Regional R411	R 4,110,601	Saibro Compactado 98 Mod AASTHO 600 mm						
		R 4,111,102							
		R 41,118,503							
		R 4,112,804							
	Estrada Regional R411	R 4,121,301							
		R 4,121,902							
		R 4,122,403							
		R 4,123,204							
		R 4,123,905							

Fonte: Dados de pesquisa (2010).

Tabela 5.7 - Caracterização dos segmentos estudados (Rodovias das Redes Primária e Secundária)

REDE PRIMÁRIA	Rodovia	Tipo de Pavimento	Segmento homogêneo	N (10 ¹⁰⁰)			IRI (m/km)			DEF (0.01mm)			SNC			Paterson		
				2000	2003	2006	2000	2003	2006	2000	2003	2006	2000	2003	2006	2000	2003	2006
REDE PRIMÁRIA	Estrada Nacional N1	CAUQ	N10301	3.57E+05	3.79E+05	4.21E+05	4.4	4.7	5.2	189.5	180.3	200.4	3.5	3.7	4.2	4.4	4.4	4.5
		CAUQ	N10802	2.90E+06	3.09E+06	3.43E+06	3.8	4.0	4.5	119.0	115.9	128.8	3.8	4.1	4.6	3.8	3.8	3.9
		CAUQ	N11403	1.78E+06	1.90E+06	2.11E+06	2.3	2.4	2.7	86.7	92.1	102.4	3.8	4.1	4.5	2.3	2.3	2.3
		CAUQ	N12804	1.78E+06	1.90E+06	2.11E+06	1.9	2.1	2.3	97.4	103.6	115.2	3.4	3.6	4.1	1.9	1.9	1.9
		CAUQ	N14205	6.95E+05	7.39E+05	8.22E+05	1.9	2.1	2.3	81.1	86.3	95.9	4.6	4.9	5.5	1.6	1.9	1.9
		CAUQ	N15406	2.53E+05	2.69E+05	2.99E+05	1.5	1.6	1.8	37.3	60.9	67.7	5.5	5.8	6.5	1.5	1.5	1.5
		CAUQ	N18107	2.25E+05	2.39E+05	2.66E+05	1.6	1.7	1.9	35.6	59.1	65.7	5.2	5.5	6.2	1.6	1.6	1.6
		CAUQ	N18508	4.32E+05	4.59E+05	5.10E+05	1.5	1.6	1.8	34.2	36.4	40.4	5.1	5.5	6.1	1.5	1.5	1.6
		CAUQ	N110709	3.64E+05	3.87E+05	4.30E+05	1.4	1.5	1.6	47.0	50.1	55.6	4.9	5.3	5.9	1.4	1.4	1.4
		CAUQ	N112410	3.45E+05	3.68E+05	4.08E+05	2.2	2.4	2.6	85.7	91.2	101.3	3.8	4.1	4.5	2.2	2.2	2.2
		CAUQ	N113411	3.65E+05	3.88E+05	4.31E+05	2.8	2.9	3.3	73.9	78.7	87.4	3.9	4.2	4.6	2.8	2.8	2.8
	Estrada Nacional N2	CAUQ	N20401	8.09E+04	8.60E+04	9.56E+04	3.5	3.6	4.1	127.6	135.8	150.1	3.9	4.2	4.6	3.5	3.5	3.5
		CAUQ	N21402	8.09E+04	8.60E+04	9.56E+04	2.8	2.4	2.6	220.0	234.1	260.1	3.2	3.4	3.7	2.3	2.3	2.3
		TSD	N22403	8.02E+04	8.54E+04	9.49E+04	2.6	2.7	3.0	239.5	276.1	306.9	3.1	3.3	3.7	2.6	2.6	2.7
		CAUQ	N24104	7.14E+04	7.60E+04	8.44E+04	3.4	3.6	3.9	205.4	219.5	243.9	3.5	3.7	4.1	3.4	3.4	3.5
		CAUQ	N24805	2.29E+04	2.43E+04	2.70E+04	2.1	2.1	2.4	238.9	254.1	282.3	2.8	2.9	3.3	2.1	2.1	2.1
		CAUQ	N25706	2.29E+04	2.43E+04	2.70E+04	2.1	2.2	2.4	97.1	103.3	114.8	3.0	3.2	3.5	2.1	2.1	2.1
		TSD	N26407	1.07E+05	1.14E+05	1.26E+05	1.9	1.9	2.1	95.2	101.3	112.6	3.2	3.4	3.8	1.8	1.9	1.9
	Estrada Nacional N3	TSD	N30401	8.37E+04	8.91E+04	9.9E+04	2.4	2.5	2.8	403.7	429.5	477.2	2.7	2.9	3.2	2.4	2.4	2.5
		TSD	N30802				2.2	2.3	2.5	257.5	273.9	304.4	3.1	3.3	3.7	2.2	2.2	2.2
		TSD	N31403				2.7	2.8	3.1	135.6	144.5	160.3	7.6	8.0	8.9	2.7	2.7	2.7
		TSD	N31904				2.5	2.6	2.9	188.8	200.8	225.1	4.4	4.7	5.2	2.5	2.6	2.6
		TSD	N32205	1.19E+05	1.26E+05	1.4E+05	1.9	2.1	2.3	116.4	123.8	137.6	3.9	4.2	4.6	1.9	2.0	2.0
		CAUQ	N32606				2.4	2.5	2.7	109.6	116.6	129.6	4.2	4.4	4.9	2.4	2.4	2.4
		CAUQ	N33107				2.6	2.7	3.0	82.1	87.4	97.1	4.6	4.8	5.4	2.6	2.6	2.6
REDE SECUNDÁRIA	Estrada nacional N200	N. Pv.	N20009001	6.54E+03	6.96E+03	7.73E+03	20.8	21.7	24.1	674.6	717.7	797.4	1.1	1.1	1.2	20.8	20.9	22.4
		N. Pv.	N20002502	8.86E+03	9.43E+03	1.05E+04	19.4	20.2	22.4	336.8	358.3	398.1	0.8	0.8	0.9	19.9	19.5	22.1
		N. Pv.	N20004003	1.12E+04	1.19E+04	1.32E+04	20.4	21.2	23.5	342.3	364.1	404.6	0.7	0.8	0.8	20.3	20.4	23.9
		N. Pv.	N20052004	1.31E+04	1.40E+04	1.55E+04	21.3	22.1	24.6	366.2	389.6	432.9	0.7	0.8	0.8	21.3	21.4	24.8
		CAUQ	N20068005	5.24E+04	5.57E+04	6.19E+04	4.0	4.2	4.7	481.0	511.7	568.6	2.0	2.1	2.3	4.0	4.0	4.2
		N. Pv.	N20084006	2.39E+04	2.55E+04	2.83E+04	13.0	13.6	15.1	340.0	361.7	401.9	1.4	1.5	1.6	13.0	13.1	13.7
		N. Pv.	N20010007	2.35E+04	2.50E+04	2.78E+04	17.8	18.7	20.6	138.9	147.8	164.3	1.2	1.3	1.5	17.8	17.9	18.8
		N. Pv.	N20011808	2.16E+04	2.30E+04	2.56E+04	17.7	18.7	20.5	105.0	111.7	124.1	1.4	1.5	1.6	17.7	17.8	18.4
		N. Pv.	N20013409	7.63E+04	8.12E+04	9.02E+04	17.5	18.3	20.3	227.5	242.0	268.9	1.7	1.8	2.0	17.5	17.6	17.9
	EN N201	TSD	N20100801	3.37E+04	3.58E+04	3.98E+04	2.5	2.6	2.9	34.5	36.7	40.7	5.6	5.8	6.6	2.5	2.5	2.6
		TSD	N20101302				2.7	2.8	3.1	32.9	66.9	74.4	4.9	5.2	5.8	2.7	2.7	2.7
		CAUQ	N20101903				3.0	3.1	3.5	46.1	49.0	54.5	4.8	5.1	5.7	3.1	3.0	3.0
		CAUQ	N20102304				2.7	2.8	3.1	52.5	55.9	62.1	4.8	5.1	5.7	2.7	2.7	2.7
	EN N202	CAUQ	N2020401	5.05E+04	5.37E+04	5.97E+04	2.7	2.8	3.2	165.9	176.45	196.1	2.6	2.8	3.1	2.7	2.7	2.8

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Tabela 5.8 - Caracterização dos segmentos estudados (Rodovias da Rede Terciária)

REDE TERCIÁRIA	Rodovia	Tipo de Pavimento	Segmento homogêneo	N (10 ⁶)			IRI (m/km)			DEF (0.01mm)			SNC			Paterson		
				2000	2003	2006	2000	2003	2006	2000	2003	2006	2000	2003	2006	2000	2003	2006
REDE TERCIÁRIA	Estrada Regional R400	TSD	R400,701	4.39E+04	4.67E+04	4.72E+04	2.3	2.6	2.9	283.7	293.0	323.6	3.1	3.3	3.9	1.9	2.1	2.3
		TSD	R401,002				3.6	4.0	4.4	426.3	473.7	526.3	2.3	2.7	3.0	2.9	3.3	3.6
		TSD	R401,603				3.4	3.7	4.2	236.8	263.1	292.4	3.0	3.4	3.8	2.8	3.0	3.4
		CAUQ	R402,104				2.2	2.3	2.8	239.1	287.9	319.9	3.1	3.4	3.8	1.8	2.0	2.2
		CAUQ	R402,605				3.4	3.8	4.2	332.3	332.3	330.0	3.1	3.4	3.8	2.8	3.1	3.3
		CAUQ	R4,010,501				2.7	3.0	3.3	269.7	299.8	332.9	3.3	3.9	4.4	2.2	2.3	2.7
	Estrada regional R401	CAUQ	R4,021,302	6.02E+04	6.08E+04	6.14E+04	4.0	4.5	4.9	342.5	380.3	422.8	2.7	2.9	3.3	3.3	3.6	4.0
		CAUQ	R4,011,903				3.3	6.1	6.8	268.5	298.3	331.4	2.8	3.2	3.5	4.5	5.0	5.6
		CAUQ	R4,012,904				6.2	6.8	7.6	232.7	280.8	312.0	2.9	3.3	3.7	3.0	3.6	6.2
		CAUQ	R4,013,905				3.6	6.1	6.8	246.5	273.9	304.3	3.4	3.8	4.2	4.5	5.0	5.6
		TSD	R4,014,206				1.9	2.1	2.3	304.2	338.0	373.6	3.1	3.3	3.9	3.3	1.7	1.9
		TSD	R4,014,607				2.7	3.0	3.3	332.3	332.3	332.3	2.7	3.2	3.6	2.2	2.3	2.8
	Estrada regional R402	CAUQ	R4,021,001	6.78E+04	6.84E+04	6.81E+04	6.7	6.9	7.7	311.2	345.7	384.1	0.9	3.0	3.4	3.1	3.7	6.3
		N. pvtada	R4,023,402				3.42E+04	3.46E+04	3.49E+04	19.8	22.0	24.5	344.6	382.9	423.5	0.9	0.9	1.1
		N. pvtada	R4,026,303				2.36E+04	2.99E+04	3.03E+04	18.9	21.0	23.3	365.3	405.9	451.0	1.1	0.9	1.1
		N. pvtada	R4,029,504				2.31E+04	2.33E+04	2.36E+04	18.5	20.6	22.9	317.2	352.3	329.0	0.6	1.3	1.4
		N. pvtada	R4,030,401				1.08E+04	1.09E+04	1.10E+04	20.1	22.6	24.8	312.8	347.6	386.3	1.1	0.5	0.7
		N. pvtada	R4,031,002				1.88	20.9	23.2	762.0	846.7	940.8	1.0	1.3	1.4	13.4	17.1	18.9
	Estrada Regional R403	N. pvtada	R4,033,403	1.59E+04	1.61E+04	1.63E+04	19.9	22.1	24.5	322.2	338.0	397.8	0.9	1.1	1.3	16.3	18.1	20.1
		N. pvtada	R4,034,203				18.9	20.9	23.3	332.3	332.3	383.4	0.8	1.1	1.2	13.4	17.1	19.1
		N. pvtada	R4,040,701				2.97E+04	3.00E+04	3.03E+04	15.8	17.5	19.5	332.3	332.3	621.9	1.3	0.9	1.0
	Estrada Regional R404	N. pvtada	R4,041,432	2.97E+04	3.00E+04	3.03E+04	18.4	20.4	22.7	332.3	332.3	347.2	1.3	1.4	1.6	15.0	16.7	18.6
		N. pvtada	R4,052,101				20.1	22.3	24.8	165.8	184.2	204.7	1.2	1.4	1.6	16.4	18.2	20.3
		N. pvtada	R4,053,202				18.8	20.9	23.3	234.1	260.1	289.0	1.1	1.3	1.5	15.4	17.1	19.0
	Estrada Regional R405	N. pvtada	R4,034,103	1.37E+05	1.38E+05	1.40E+05	17.7	19.6	21.8	241.1	267.9	297.6	1.1	1.2	1.4	14.4	16.1	17.9
		N. pvtada	R4,034,804				17.8	19.8	22.0	263.7	293.3	328.1	1.1	1.2	1.4	14.6	16.2	18.0
		N. pvtada	R4,035,205				18.4	20.4	22.7	332.3	332.3	316.7	1.1	1.2	1.4	15.0	16.7	18.3
		N. pvtada	R4,601,201				19.8	21.9	24.4	250.0	277.8	308.7	0.9	1.2	1.3	16.2	17.9	19.9
		N. pvtada	R4,062,102				19.3	21.4	23.8	337.3	397.2	441.4	0.9	1.0	1.1	13.8	17.3	19.4
		N. pvtada	R4,064,003				18.9	20.9	22.3	326.3	364.8	403.4	1.0	1.0	1.2	13.4	17.1	19.0
	Estrada Regional R406	N. pvtada	R4,065,404	7.63E+03	7.71E+03	7793.40408	15.4	17.1	19.0	301.8	333.4	372.6	1.0	1.1	1.3	12.6	14.0	15.3
		N. pvtada	R4,067,005				18.3	20.4	22.6	332.3	332.3	305.3	3.6	1.2	1.3	12.8	16.8	18.3
		Pavimentada	R4,070,901				1.97E+04	1.99E+04	2.01E+04	3.1	3.5	3.8	248.4	276.0	306.7	1.3	3.9	4.4
		N. pvtada	R4,071,302				1.88E+04	1.90E+04	1.92E+04	16.1	17.9	19.8	248.2	273.8	306.4	1.3	1.4	1.5
		N. pvtada	R4,072,204				1.90E+04	1.92E+04	1.94E+04	14.9	16.6	18.4	315.3	330.3	389.2	0.9	1.4	1.5
		CAUQ	R4,072,805				8.4	9.3	10.4	271.1	301.3	334.7	0.9	1.1	1.2	6.9	7.6	8.5
	Estrada Regional R407	CAUQ	R4,073,306	1.92E+04	1.94E+04	1.96E+04	8.2	9.1	10.1	332.3	332.3	377.2	1.1	1.0	1.1	6.7	7.4	8.2
		N. pvtada	R4,080,801				12.3	13.7	15.2	217.5	241.6	268.5	0.9	1.2	1.4	10.1	11.2	12.4
		N. pvtada	R4,081,802				14.7	16.4	18.2	297.1	330.1	366.7	0.9	1.1	1.2	12.1	13.4	14.9
		N. pvtada	R4,083,103				14.1	15.7	17.5	390.9	434.3	482.6	0.8	1.0	1.1	11.6	12.8	14.3
		N. pvtada	R4,084,704				8.12E+03	8.20E+03	8.29E+03	15.4	17.1	18.9	396.4	662.6	736.3	0.8	0.9	0.9
		N. pvtada	R4,085,705				7.66E+03	7.74E+03	7.81E+03	17.2	19.1	21.3	419.8	466.4	518.3	0.8	0.9	1.0
	Estrada Regional R408	N. pvtada	R4,086,006	7.35E+03	7.43E+03	7.50E+03	13.1	14.5	16.1	332.3	332.3	433.3	0.8	0.9	1.0	10.1	11.8	13.2

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Tabela 5.8 - Caracterização dos segmentos estudados (Rodovias da Rede Terciária) - continuação

REDE TERCIÁRIA	Rodovia	Tipo de Pavimento	Segmento homogêneo	N (10 ⁴)			IRI (m/km)			DEF (0.01mm)			SNC			Paterson		
				2000	2003	2006	2000	2003	2006	2000	2003	2006	2000	2003	2006	2000	2003	2006
REDE TERCIÁRIA	Estrada Regional R410	N. pvtada	R4,110,601	1.22E+04	1.24E+04	1.25E+04	14.5	16.1	17.9	352.5	352.5	291.5	0.8	0.9	1.0	11.9	13.2	14.7
		N. pvtada	R4,091,302	1.22E+04	1.24E+04	1.25E+04	15.4	17.1	18.9	352.5	352.5	301.4	0.8	0.9	0.9	12.6	13.9	15.5
	Estrada Regional R411	N. pvtada	R4,110,601	7.71E+05	7.79E+03	7.87E+03	18.3	20.3	22.5	124.5	138.4	153.7	1.2	1.4	1.5	14.9	16.6	10.4
		N. pvtada	R4,111,102				15.1	16.8	18.6	109.0	121.1	134.6	1.3	1.4	1.6	12.3	13.7	15.2
		N. pvtada	R4,118,508	9.10E+03	9.19E+03	9.28E+03	19.9	22.2	24.6	76.45	84.9	94.4	1.1	1.2	1.3	16.3	18.1	20.1
		N. pvtada	R4,112,804	0.00E+00	0.00E+00		19.9	22.2	24.6	317.2	352.5	54.9	1.1	1.2	1.3	16.3	18.1	20.1
	Estrada Regional R412	N. pvtada	R4,121,301				20.1	22.4	24.9	158.9	176.6	190.2	1.2	1.3	1.5	16.5	18.1	20.3
		N. pvtada	R4,121,902				17.1	19.0	21.1	240.6	267.3	297.0	1.1	1.2	1.3	14.0	15.6	17.3
		N. pvtada	R4,122,408	1.37E+04	1.39E+04	1.40E+04	18.4	20.5	22.7	183.2	203.6	228.2	1.2	1.3	1.5	15.0	16.7	18.6
		N. pvtada	R4,123,204				17.7	19.7	21.9	105.7	117.5	130.5	1.3	1.5	1.7	14.5	16.1	17.8
		N. pvtada	R4,123,905				18.8	20.3	22.6	352.5	352.5	218.6	1.3	1.4	1.6	14.5	16.6	18.4

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

5.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS

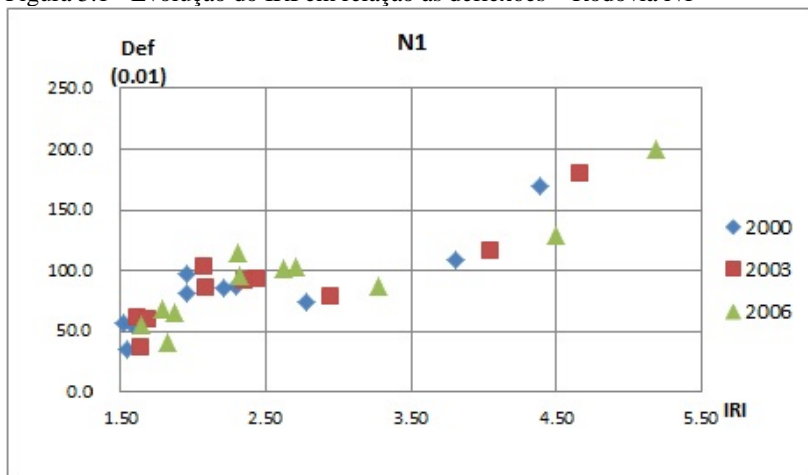
Elaborou-se um estudo para entender os resultados obtidos relacionando-os com o processo natural de deterioração dos pavimentos pertencentes a cada uma das seções homogêneas das diversas rodovias componentes da rede primária.

A partir da plotagem dos dados dos levantamentos realizados nos segmentos homogêneos, conforme apresentados nas Tabelas 5.7 e 5.8, nas quais a irregularidade é apresentada e relacionada com o número de repetições do eixo padrão de 80 KN (critério do DNER) e com as deflexões.

5.2.1 Rede Primária

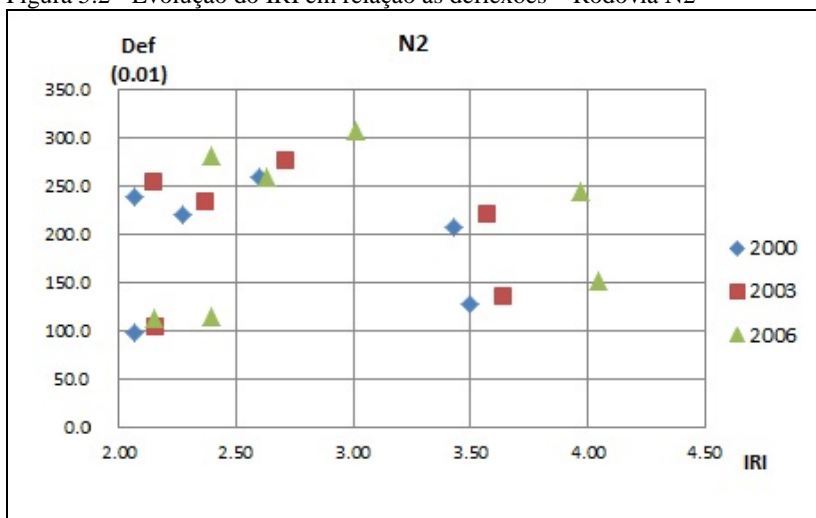
As Figuras 5.1 a 5.3 e a Tabela 5.7 apresentam a relação entre estas três variáveis (tráfego, deflexões e irregularidade) para as rodovias N1, N2 e N3, ao longo do período 2000-2006. Pode-se verificar que a irregularidade longitudinal esta diretamente relacionada com a evolução das deflexões, isto devido ao aumento do número das passagens das cargas do tráfego atuante nas rodovias.

Figura 5.1 - Evolução do IRI em relação às deflexões – Rodovia N1



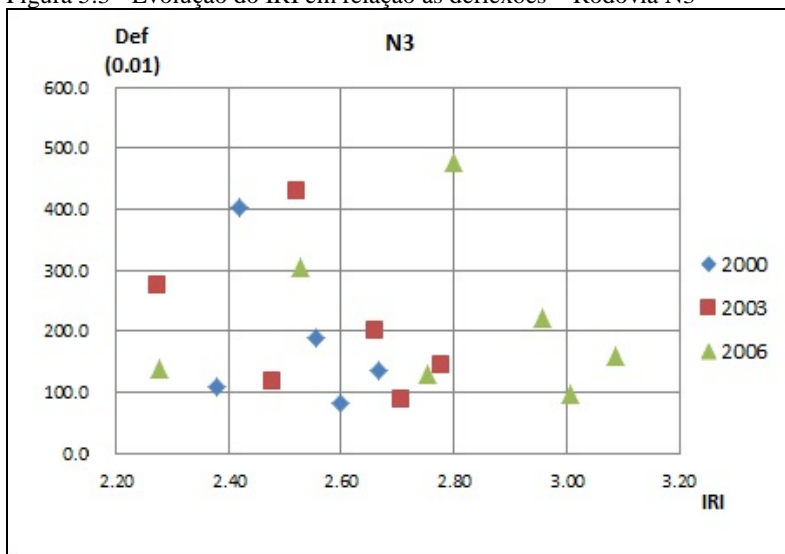
Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Figura 5.2 - Evolução do IRI em relação às deflexões – Rodovia N2



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Figura 5.3 - Evolução do IRI em relação às deflexões – Rodovia N3



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

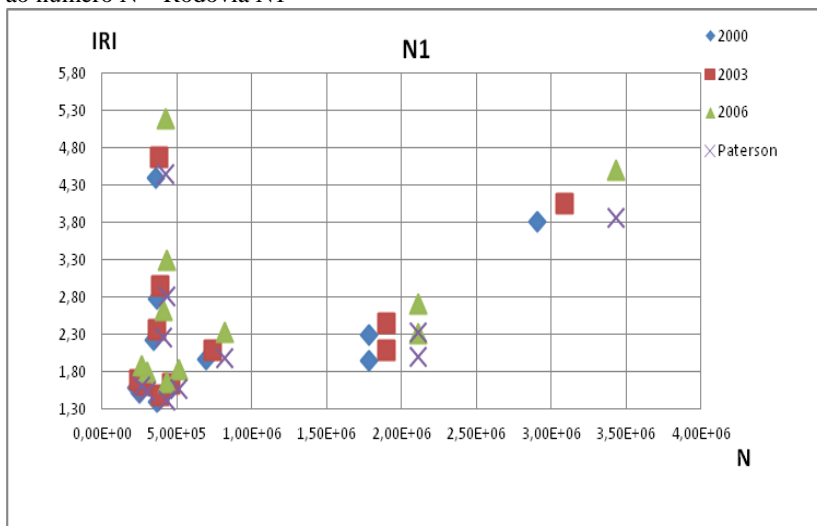
As seções apresentaram uma grande heterogeneidade dos dados, pois além de mostrar grandes valores de IRI, deflexões e solicitações de

tráfego, que indicam carregamentos elevados nos pavimentos. Os dados demonstram essencialmente que os pavimentos estão perdendo a sua capacidade de suporte das cargas.

Os segmentos homogêneos N15406, N18107, N18508 e N110709 (pertencentes a N1) verificam-se valores baixos de IRI e de deflexões, conseqüentes dos valores menores das solicitações de cargas, tomando em consideração a estrutura do pavimento em que nestas seções e uma predominância de CAUQ com espessura de 63mm (Tabela 5.1). Os segmentos homogêneos das rodovias N2 e N3 possuem comportamentos semelhantes, como se observa pelos altos valores das deflexões e IRI, conseqüência da combinação de cargas atuantes. Estes segmentos apresentam movimentações e oscilações bastante perceptíveis. O Segmento N20401 registrou maior valor de irregularidade que pode ser associado aos remendos executados.

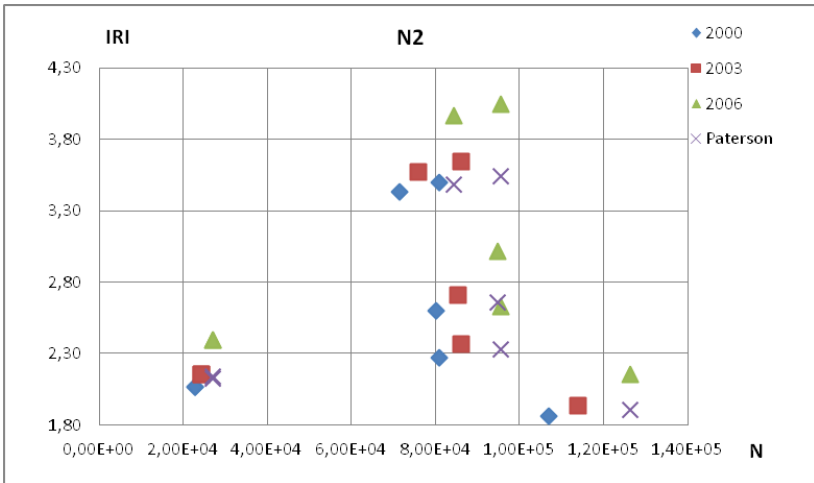
As Figuras 5.4, 5.5 e 5.6 apresentam a variabilidade das medidas de irregularidade por faixa de rolamento, comparando com o modelo preconizado por Paterson (1986). Os valores de IRI tendem a ser superiores aos apresentados pelo modelo de Paterson.

Figura 5.4 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N – Rodovia N1



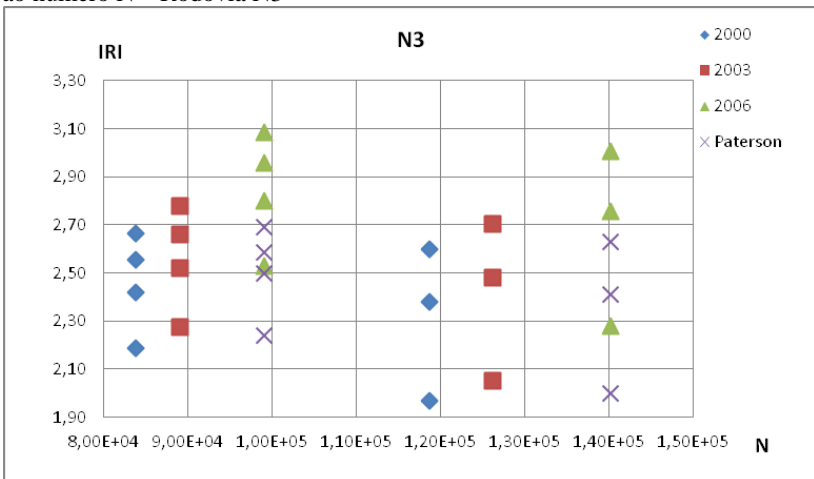
Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Figura 5.5 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N – Rodovia N2



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Figura 5.6 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N – Rodovia N3



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Para cada segmento homogêneo verificou-se, que quanto maiores são os valores de N, maiores são os valores de IRI, indicando que o contínuo aumento da passagem de cargas sobre o pavimento com tempo leva à degradação e redução da vida útil.

Entende-se certa linearidade entre valores obtidos pelos

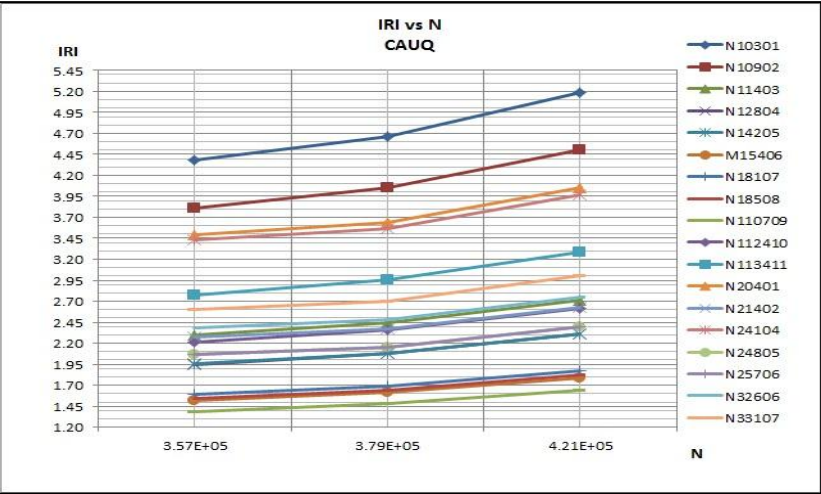
levantamentos e os valores obtidos por Paterson, indicando o fato que os valores de Paterson são 14% inferiores aos que a priori foram lidos. Significa que a degradação (aumento de IRI) dos pavimentos está evoluindo mais rápido para o estado final de serviço do que o previsto por Paterson (1986).

5.2.1.1 *Análise considerando segmentos pavimentados com CAUQ*

Ao se analisar os segmentos homogêneos considerando o tipo de pavimento, pode-se verificar a linearidade entre o aumento do tráfego e o aumento da irregularidade, conforme apresentado pela Figura 5.7 e a Tabela 5.1

A Figura 5.7 apresenta o impacto da evolução do tráfego em relação à progressão da irregularidade dos pavimentos.

Figura 5.7: Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com revestimento CAUQ (rede primária)



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Os trechos (segmentos homogêneos) N10301 e N10902 apresentam os maiores valores de IRI e ao mesmo tempo os maiores valores de N. Verifica-se que existe uma direta relação entre a evolução do tráfego com o aumento do IRI. Ao comparar os segmentos N10301 e N10902 com o segmento N20401 que também aparece com valores de IRI bastante altos possui, porém, uma espessura menor (Tabela 5.1), estando consequentemente sujeito a maiores danos pelas cargas de

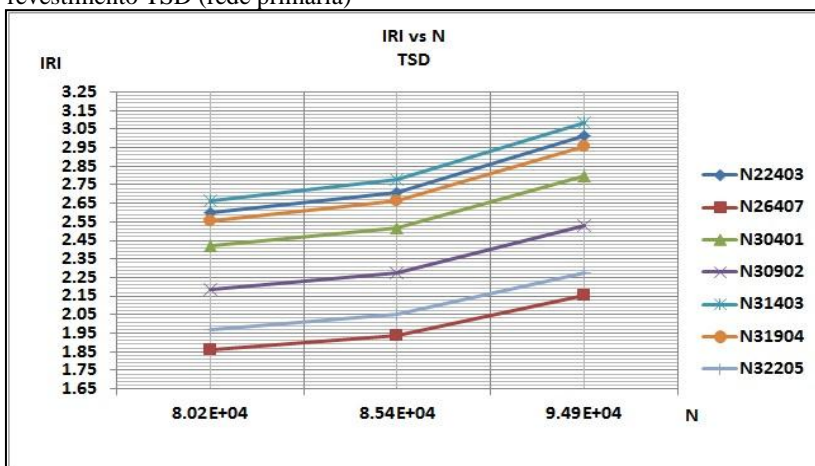
tráfego. Estes três segmentos apresentam em avanço de degradação sendo que o segmento N10902 foi que mais se degradou registrando um aumento de 18% no valor de IRI e em N de 18,27%. O segmento N10301 registrou um aumento de IRI 17% e de 18% de N e o segmento N20401 registrou um aumento de 17,14% no valor de IRI e 6,30% de N, durante o período de 2000 a 2006.

No geral, verifica-se que os maiores valores de N se encontram em segmentos pertencentes a N1, e como consequência, maiores serão os valores de IRI. Da mesma forma nota-se que, dos 25 segmentos aqui apresentados, somente cinco (N110709, N112410, N18508, N18107, N15406) se encontram em boa condição o que constitui mais de 80% de toda rede rodoviária primária aqui apresentada.

5.2.1.2 Análise considerando segmentos pavimentados com TSD

A Figura 5.8 apresenta a evolução dos segmentos homogêneos tendo em conta o revestimento TSD. Nesta figura pode-se verificar a também tendência aproximadamente linear na progressão do IRI em relação ao tráfego.

Figura 5.8 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com revestimento TSD (rede primária)



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Ao analisar N22403 em relação ao outro segmento com TSD nomeadamente N26407, verifica-se que os valores de N são menores e

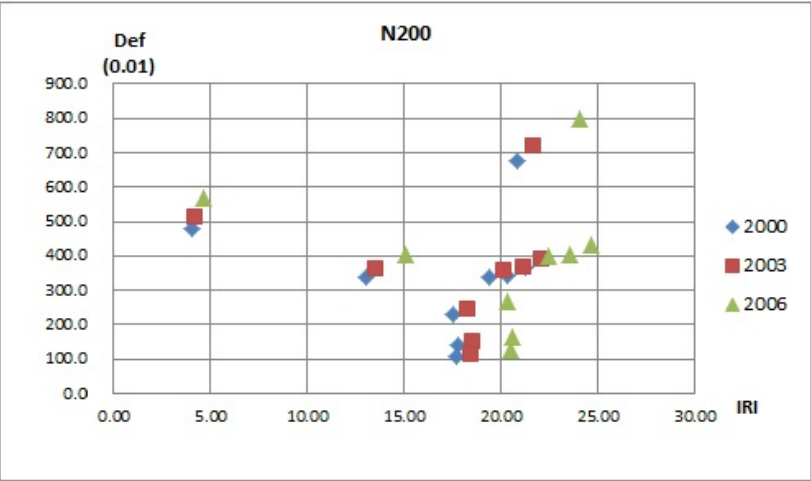
os valores de IRI maiores. Este fato revela que causas como diferença de intensidade de manutenção e tráfego com excesso de peso podem estar influenciando o comportamento diferente.

5.2.2 Rede Secundária

As Figuras 5.9, 5.10 e 5.11 apresentam a variação da deflexão *versus* o IRI em relação do número repetições padrão (N). Conforme verificado para as rodovias primárias, observa-se uma tendência de aumento das deflexões e o IRI em relação às cargas de tráfego impostas aos pavimentos.

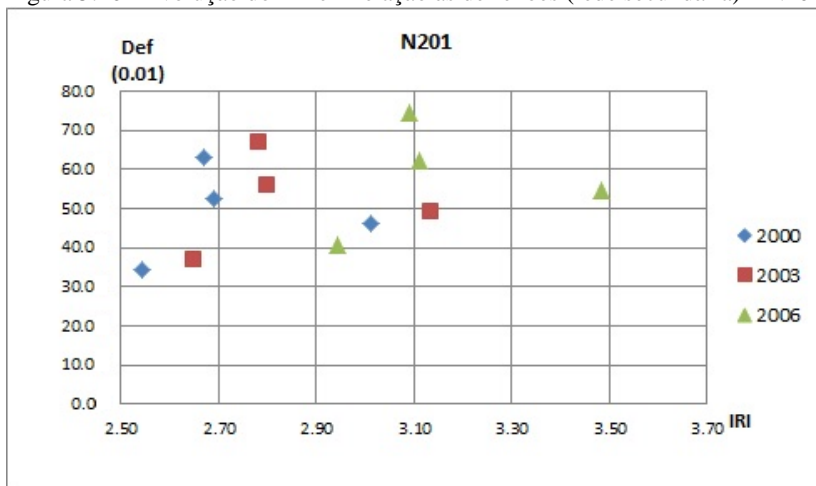
No segmento homogêneo N20068005 observou se um valor de IRI de 4,65m/km e um valor de deflexão 568×10^{-2} mm, que são considerados muito altos para um pavimento.

Figura 5.9 - Evolução do IRI em relação às deflexões (rede secundária) – N200



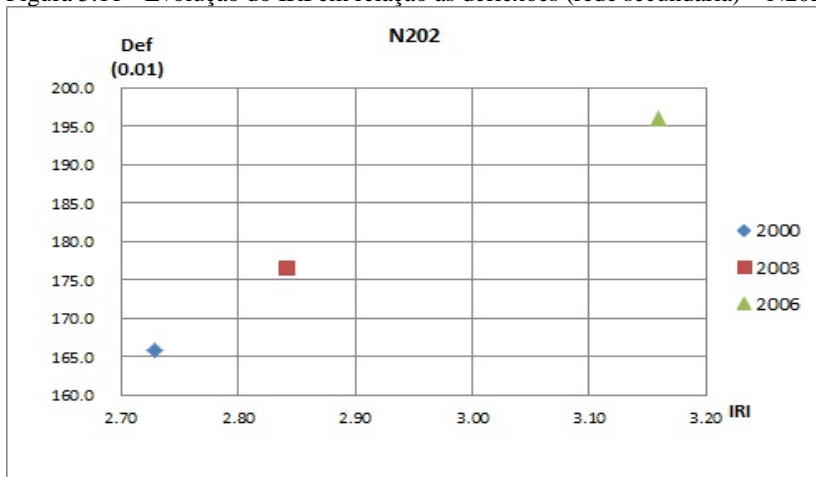
Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Figura 5.10 - Evolução do IRI em relação às deflexões (rede secundária) – N201



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Figura 5.11 - Evolução do IRI em relação às deflexões (rede secundária) – N202



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

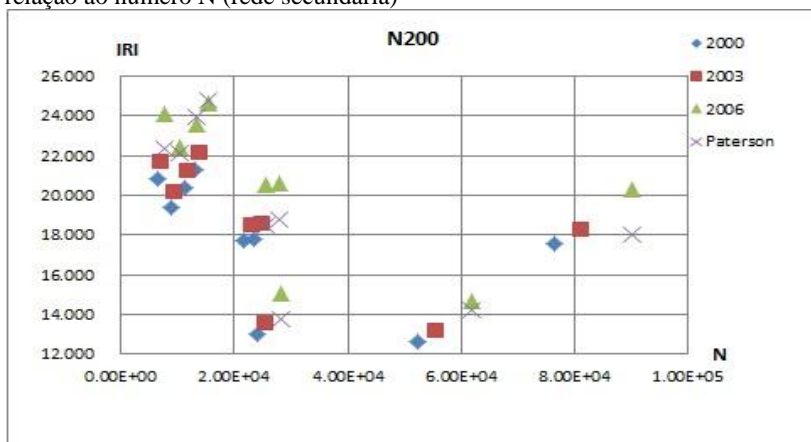
Verifica-se que na N201 valores de IRI e deflexões são baixos mesmo com o aumento de tráfego. Ao analisar a estrutura do pavimento (Tabela 5.2) verifica-se que ela é composta por uma base tratada com cimento e camada do subleito de saibro com valores de CBR altos

conferindo uma maior resistência ao pavimento.

Nas figuras 5.12, 5.13 e 5.14 são mostradas as relações entre IRI x N para as rodovias secundárias e também os valores previstos pelo modelo de Paterson.

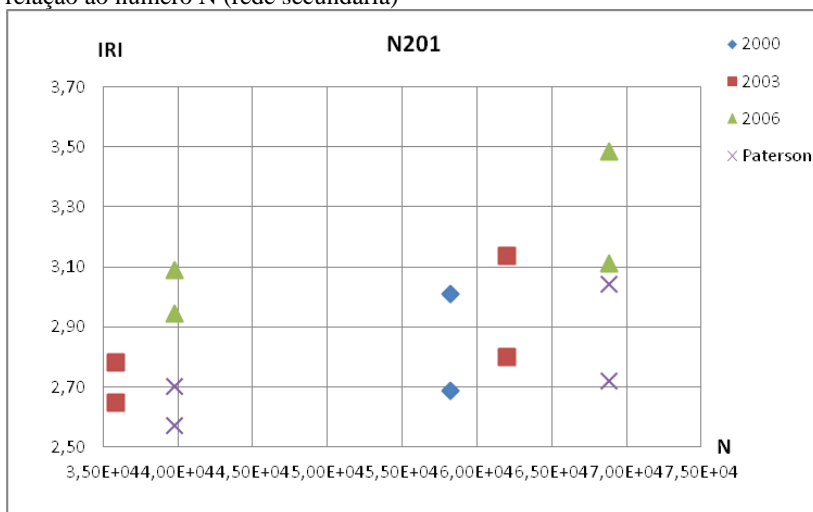
Do mesmo modo que nas rodovias primárias, para as rodovias secundárias verifica-se que os valores de IRI obtidos pelos levantamentos estão muito acima dos esperados, tomando em consideração os modelos de previsão de desempenho de Paterson (1986).

Figura 5.12 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N (rede secundária)



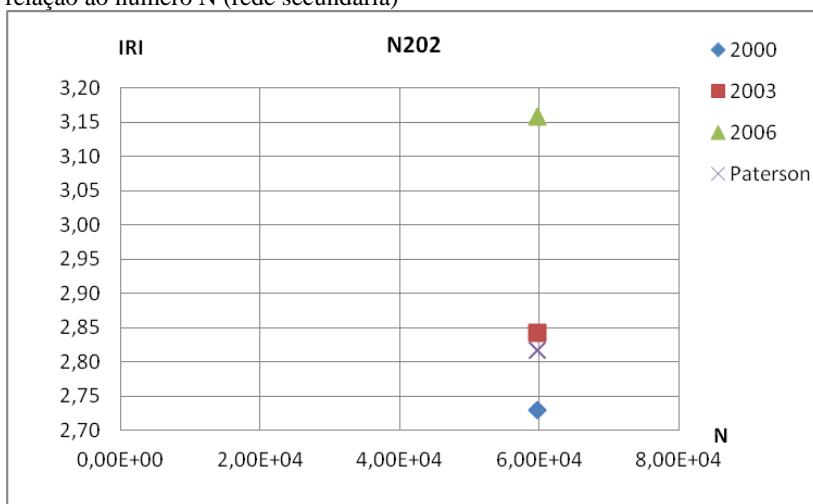
Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Figura 5.13 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N (rede secundária)



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Figura 5.14 – Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N (rede secundária)

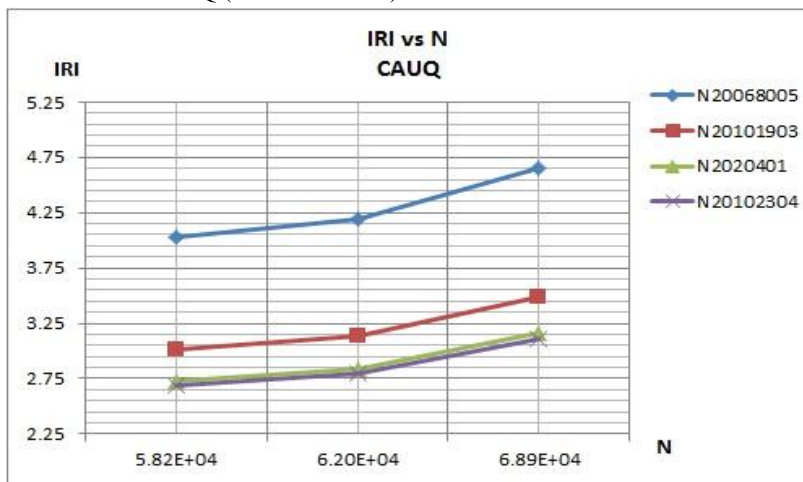


Fonte: Dados de pesquisa (2010).

5.2.2.1 Análise considerando segmentos pavimentados com CAUQ

Do mesmo modo que acontece com os pavimentos das rodovias primárias a comparação entre a evolução do tráfego em relação ao IRI para as rodovias secundárias comporta-se de forma similar. A Figura 5.15 apresenta o comportamento do IRI em relação ao N para os segmentos da rede secundária com revestimento em CAUQ.

Figura 5.15 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com revestimento CAUQ (rede secundária)



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Ao avaliar estes segmentos homogêneos verifica-se que o segmento N20068005 apresenta valores de IRI superiores aos valores dos restantes segmentos, mesmo não sendo tão altos os valores relativos ao tráfego.

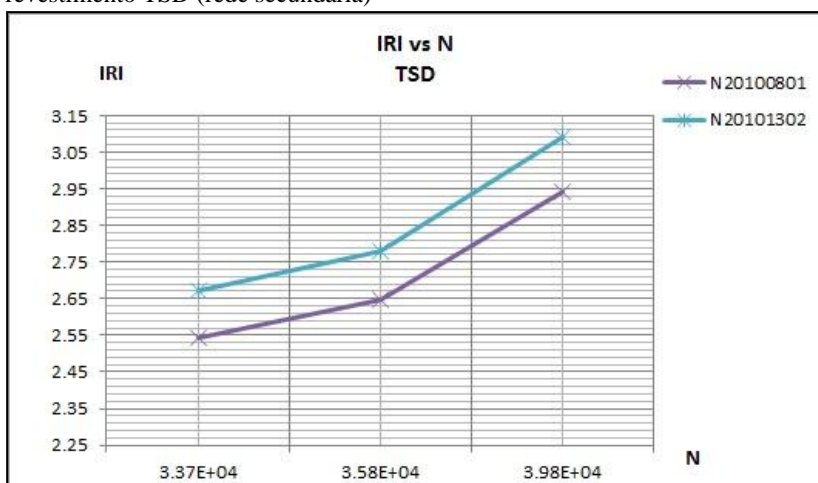
Os segmentos N20101903 e N20102304 apresentam valores de N próximos aos do segmento 20068005, mas os valores de IRI, não são tão altos quanto encontrados no segmento N20068005. Esta diferença de comportamento pode ser explicada pela diferença de intensidade e tipo de manutenção aplicada no segmento 20068005.

5.2.2.2 Análise considerando segmentos pavimentados com TSD

Analisando a Figura 5.16 verifica-se que, somente dois segmentos apresentam TSD como revestimento e os dois são

pertencentes à mesma rodovia com valores similares de N. Porém, uma ligeira maior deterioração no segmento N20101302 em relação ao N20100801, cerca de 5%, no entanto, a evolução demonstra que os valores de IRI do N20101302 já eram superiores em relação a N20100801 o que leva a entender que este segmento já se encontrava em um estado mais avançado de deterioração que outro.

Figura 5.16 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com revestimento TSD (rede secundária)

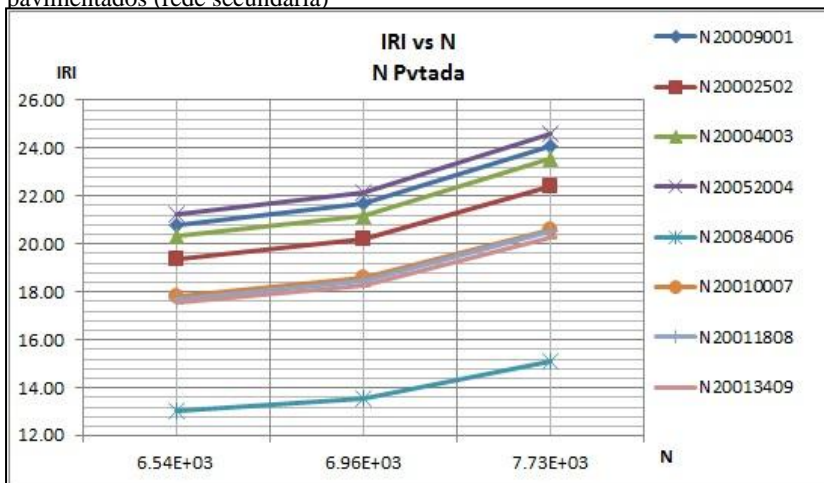


Fonte: Dados da pesquisa (2010).

5.2.2.3 Análise considerando segmentos não pavimentados

Os valores da Tabela 5.7, no que se refere aos trechos não pavimentados, mostram um comportamento similar. A Figura 5.17 apresenta a evolução do IRI, em relação ao N, no período de 2000 a 2006.

Figura 5.17 - Evolução do número N em relação ao IRI para trechos não pavimentados (rede secundária)



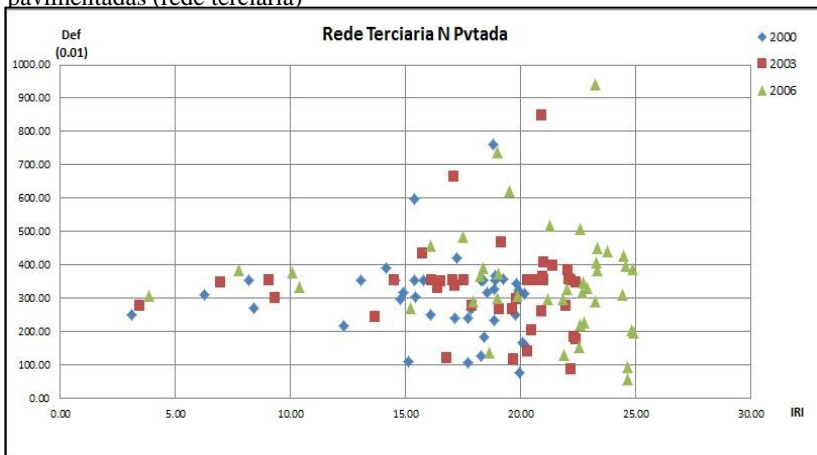
Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Ao se analisar os valores de IRI e N, pode-se perceber que, onde existem maiores valores de N existe uma proporcionalidade nos valores de IRI. O segmento homogêneo N20052004 e o segmento homogêneo N20009001 apresentam os maiores valores de IRI, mas o segmento homogêneo N20052004 apresenta valores de N substancialmente maiores. Todos eles apresentam a mesma estrutura ao longo de sua extensão, isto se deve ao fato do pavimento neste segmento não passar pela mesma sequência de manutenção que o N20009001. Mas, no geral, nenhum dos segmentos acima descritos apresenta valores de IRI abaixo de 15 m/km, o que se entende que estes se encontram em estado elevado de degradação.

5.2.3 Rede Terciária

A Figura 5.18 apresenta a evolução do IRI em relação à evolução do número de repetições de eixo padrão de todos os segmentos homogêneos pertencentes à rede terciária não pavimentada. Uma vez que esta possui rodovias não pavimentadas pode se verificar valores de IRI maiores que 4,4m/km.

Figura 5.18 - Evolução da deflexão em relação ao IRI das rodovias não pavimentadas (rede terciária)

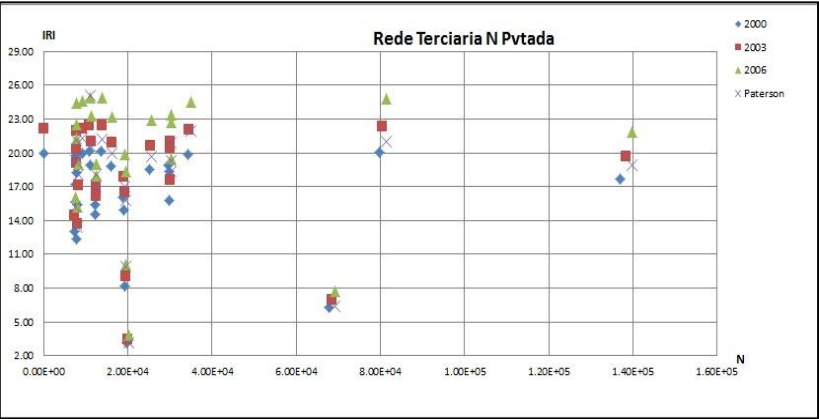


Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Verifica-se que os valores de IRI têm a mesma tendência de evolução dos valores de N. Tentou se manter todos os valores levantados para apresentar de forma realista a evolução do comportamento destes pavimentos.

A Figura 5.19 apresenta a evolução do IRI em relação ao modelo proposto por Paterson, que demonstra o que seria esperado de valores de IRI, em 2006. Ressalta-se que o modelo de Paterson (1986) foi determinado para rodovias pavimentadas.

Figura 5.19 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N das rodovias não pavimentadas (rede terciária)

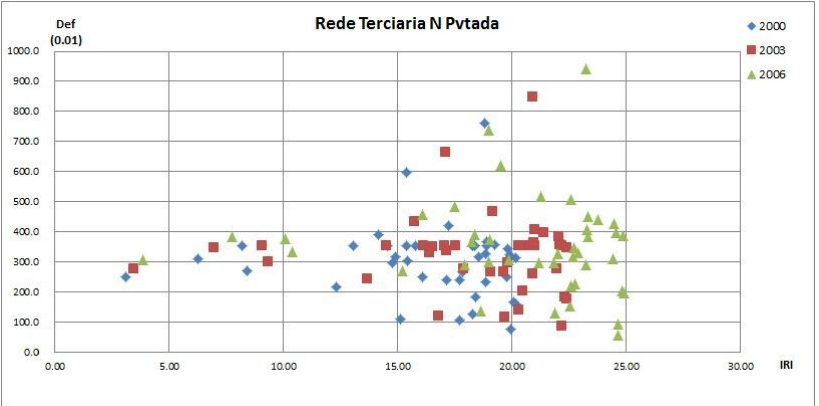


Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Os valores esperados por Paterson são inferiores aos valores apresentados nos levantamentos, indicando um decréscimo contínuo na qualidade do rolamento do pavimento, consequentemente diminuindo o desempenho dos pavimentos perante as cargas que lhe são aplicadas.

A Figura 5.20 apresenta a comparação do IRI e as deflexões em relação ao aumento do número de repetições de eixo padrão.

Figura 5.20 - Evolução do IRI em relação às deflexões das rodovias não pavimentadas (rede terciária)

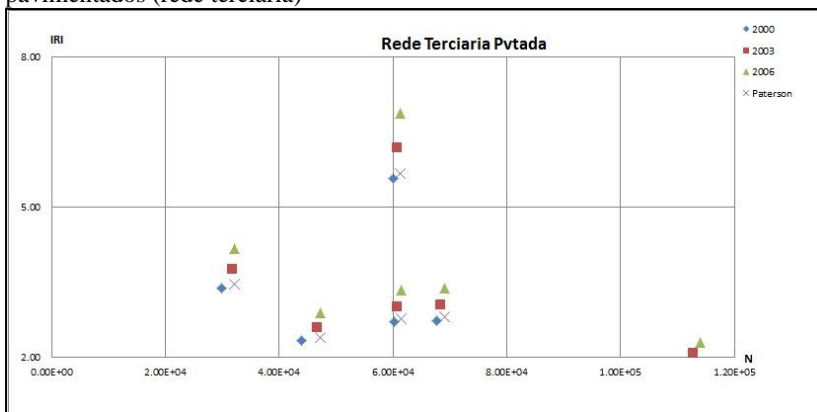


Fonte: Dados da pesquisa (2010).

A Figura 5.21 apresenta a evolução do IRI em relação à

evolução do número de repetições de eixo padrão, em todos os segmentos homogêneos pavimentados pertencentes à rede terciária. Apesar dos baixos valores de N, verifica-se a tendência de crescimento de IRI com o aumento do número de repetições do eixo padrão.

Figura 5.21 - Evolução do IRI em relação ao número N das rodovias pavimentadas (rede terciária)



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Verifica-se que os valores de IRI têm a mesma tendência da evolução que os valores de N. Tentou-se manter todos os valores levantados para apresentar de forma realista a evolução do comportamento destes pavimentos.

Tomando em consideração a Figura 5.13 e a Tabela 5.2 verifica-se que a evolução de valores de IRI para o segmento homogêneo R401002 de 4,4 m/km em 2006 e de 3,6 m/km no ano de 2000, o que demonstra um aumento de quase 24%. O valor de N evoluiu somente 7,5%.

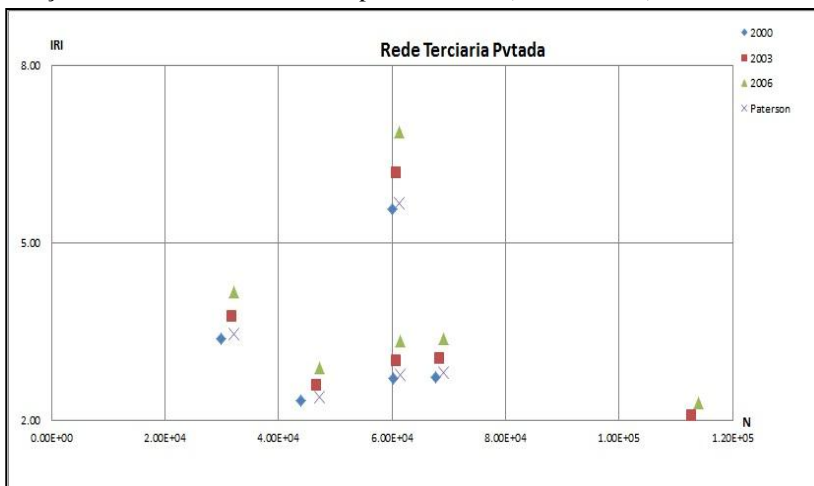
O mesmo se observa para a rodovia R401 pelo segmento homogêneo R4010501 que para valores de IRI 3,3 m/km em 2006 e 2,7m/km no ano 2000 demonstra um aumento de quase 23,6 %. O valor de N evoluiu apenas 2,0%.

Fica evidente a influência de outros fatores além do tráfego, tais como: frequência dos serviços de manutenção, qualidade da construção, etc.

Apesar de estes valores demonstrarem que ainda estão dentro dos padrões aceitáveis de rolamento, estes estão evoluindo para uma degradação rápida, devido às cargas de tráfego.

A Figura 5.22 apresenta a evolução da IRI em relação ao modelo proposto por Paterson, o que demonstra o que seria esperado de valores de IRI em 2006.

Figura 5.22 - Comparação do modelo de Paterson e a evolução do IRI em relação ao número N das rodovias pavimentadas (rede terciária)



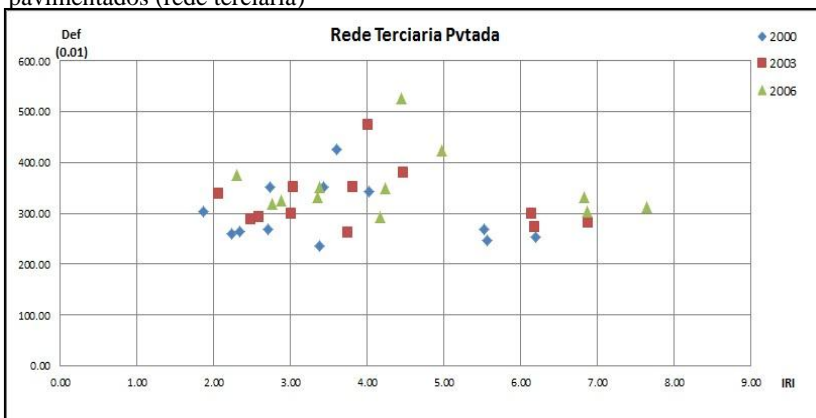
Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Os valores determinados pelo modelo de Paterson são muito inferiores aos valores apresentados nos levantamentos, indicando um decréscimo contínuo na qualidade do rolamento do pavimento, o que consequentemente influi na diminuição do desempenho dos pavimentos perante as cargas aplicadas.

A Figura 5.23 apresenta a comparação do IRI e as deflexões em relação ao aumento do número de repetições de eixo padrão.

Analogicamente às rodovias não pavimentadas, as pavimentadas apresentam um aumento das deflexões no período de estudo, devido às cargas aplicadas ao pavimento, que provocam o surgimento de deformações que consequentemente aumentam a irregularidade longitudinal.

Figura 5.23 - Evolução do IRI em relação às deflexões das rodovias pavimentados (rede terciária)

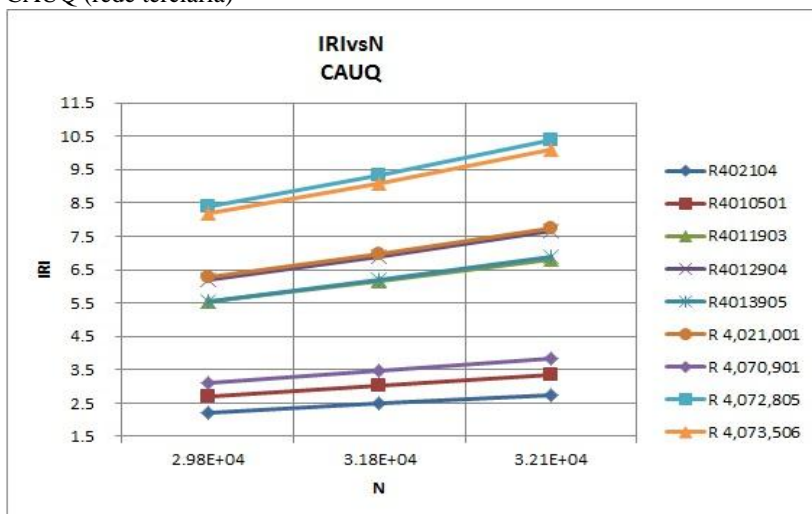


Fonte: Dados da pesquisa (2010).

5.2.3.1 *Análise considerando segmentos pavimentados com CAUQ*

Ao se analisar a evolução e IRI e N tendo em conta o revestimento neste caso o CAUQ, verificou-se que a maioria dos segmentos homogêneos se encontra em avançado estado de degradação. A Figura 5.24 apresenta o comportamento do revestimento dos pavimentos de acordo com a evolução do IRI em relação ao N.

Figura 5.24 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com CAUQ (rede terciária)



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

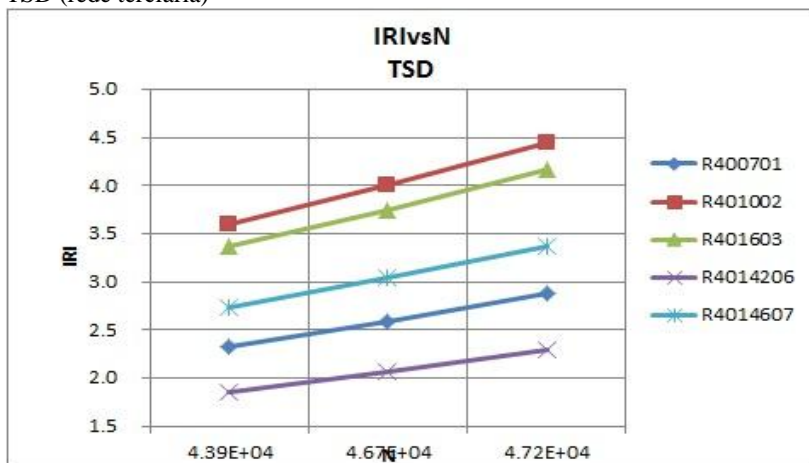
Ao observar a Figura 5.24 verifica-se que os segmentos homogêneos R4073506, R4072805, R4021001 R4011903 e R4012904 possuem altos valores de IRI.

Os segmentos R402605 e R4010501 são os únicos que apresentam valores de IRI que indicam um estado mais conservado, mas ao se comparar os valores de N verifica-se que o segmento R402605 está muito menos solicitado que o R4010501, ao mesmo tempo em que este apresenta valores menores de IRI. Uma vez que os dois segmentos possuem o mesmo tipo de revestimento denota-se consequentemente que este estaria em maior período sem manutenção.

5.2.3.2 Análise considerando segmentos pavimentados com TSD

Tendo em conta a mesma abordagem acima descrita a Figura 5.25 apresenta a evolução de IRI em relação a N, levando em conta os pavimentos com revestimento TSD.

Figura 5.25 - Evolução do número N em relação ao IRI para pavimentos com TSD (rede terciária)



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

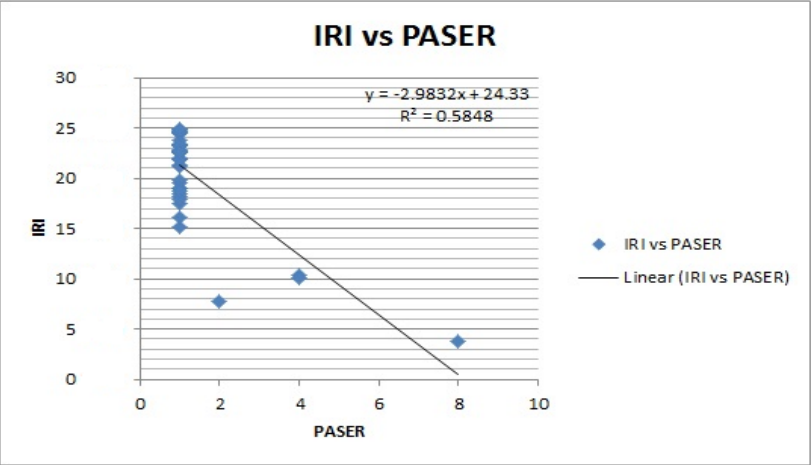
Ao se analisar os segmentos homogêneos R401002 e R4014607 verificou-se que R4014607 apresenta maiores valores de N, mas os valores de IRI são menores comparando-se com os valores de 401002, o que pode indicar que este pavimento pode se encontrar um maior período sem manutenção.

O segmento R400701 e o segmento R4014607 apresentam desempenho similar onde os valores de N são menores no primeiro, mas os seus valores de IRI são maiores, com uma particularidade, apresentam-se em melhores condições de serviço ao se comparar com os outros, R401002 e R4014607, em que os valores de IRI são ainda maiores apresentando uma maior degradação dos mesmos.

5.2.4 Interpolação IRI *versus* PASER

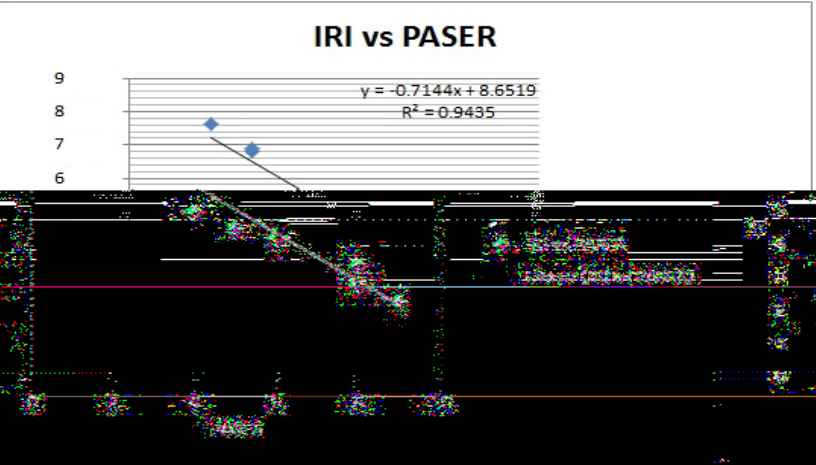
As Figuras 5.26 e 5.27 e as tabelas 5.9 e 5.10 apresentam a correlação entre o índice de irregularidade longitudinal e as avaliações PASER para as redes primária, secundária e terciária.

Figura 5.26 - Correlação IRI versus PASER rodovias primárias e secundárias (pavimentadas)



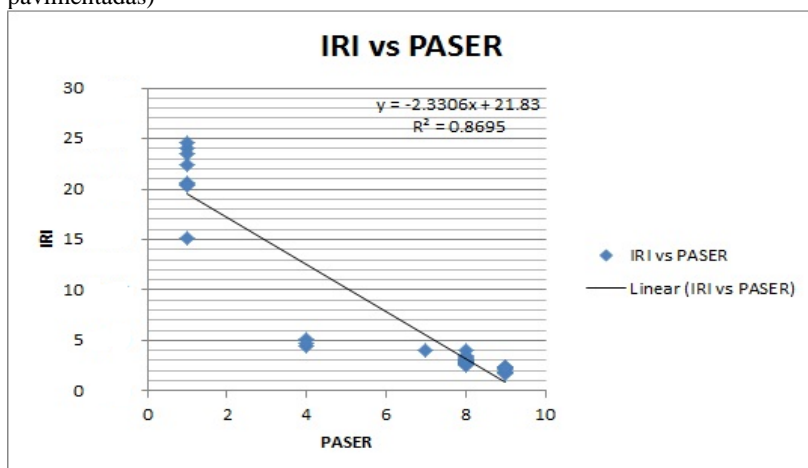
Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Figura 5.27 - Correlação IRI versus PASER rodovias terciárias (pavimentadas)



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Figura 5.28 - Correlação IRI versus PASER rodovias terciárias (não pavimentadas)



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Pode-se verificar através das figuras 5.26 e 5.27 e da Tabela 5.9 que os valores de IRI e PASER apresentam desempenho similar, resultando em correlações aceitáveis a boas para as rodovias primárias e secundárias.

Verifica-se, de modo geral que, a rede primária está em bom estado de serviço de forma que a Estrada Nacional número 1 (N1) possui os primeiros 10 km em estado avançado de deterioração, necessitando, de um aumento de sua capacidade estrutural. As estradas nacionais N2 e N3 estão em bom estado de serviço, com a capacidade de suporte a cargas altas.

Da mesma forma, a rede secundária encontra-se em estado de deterioração, uma vez que a rodovia mais extensa com 134 km, a estrada nacional N200, se encontra em elevado estado de deterioração, e as restantes estradas nacionais N201 e N202 se encontram em bom estado de serviço com a sua capacidade de suporte as cargas alta, ou seja, em bom estado de conservação.

Tabela 5.9 - Segmentos homogêneos com valores de PASER correlacionados com IRI (Redes Primárias e Secundárias) – Dados de 2006

Rod.	Tipo de pavimento	Segmento homogêneo	TMD	N (10 ³)	MR	SN	DEF	IRI	PASER Interpol	PASER
Estrada nacional N1	Pavimentada	N10301	2601	4.21E+05	180	2.6	200	5.9	3.6	4
	Pavimentada	N10902	17898	3.43E+06	165	2.8	129	4.5	4.0	4
	Pavimentada	N11403	13828	2.11E+06	167	2.8	102	2.7	8.4	8
	Pavimentada	N12804	9700	2.11E+06	198	2.5	115	2.3	8.6	9
	Pavimentada	N14205	5096	8.22E+05	242	3.4	95	2.3	8.7	9
	Pavimentada	N15406	1703	2.99E+05	322	4.0	67	1.8	8.9	9
	Pavimentada	N18107	1366	2.66E+05	254	3.8	65	1.8	8.9	9
	Pavimentada	N18508	2324	5.10E+05	331	3.8	40	1.8	8.9	9
	Pavimentada	N110709	1948	4.30E+05	286	3.6	55	1.6	9.1	9
	Pavimentada	N112410	1539	4.08E+05	269	2.8	101	2.6	8.5	8
	Pavimentada	N113411	1510	4.31E+05	281	2.9	87	3.3	8.1	8
Estrada nacional N2	Pavimentada	N20401	714	9.56E+04	121	2.9	150	4.0	6.3	7
	Pavimentada	N21402	731	9.56E+04	151	2.3	260	2.6	8.5	8
	Pavimentada	N22403	731	9.49E+04	133	2.2	306	3.0	8.3	8
	Pavimentada	N24104	429	8.44E+04	85	2.5	243	3.9	7.7	8
	Pavimentada	N24805	236	2.70E+04	85	2.0	282	2.3	8.6	9
	Pavimentada	N25706	241	2.70E+04	95	2.2	114	2.4	8.6	9
	Pavimentada	N26407	1093	1.26E+05	92	2.3	112	2.1	8.8	9
Estrada nacional N3	Pavimentada	N30401	836	9.90E+04	105	1.9	477	2.8	8.4	8
	Pavimentada	N30902			131	2.3	304	2.5	8.5	8
	Pavimentada	N31403			135	5.5	160	3.9	8.2	8
	Pavimentada	N31904			126	3.2	223	2.9	8.3	8
	Pavimentada	N32205	1193	1.40E+05	129	2.8	137	2.8	8.7	9
	Pavimentada	N32606			133	3.1	126	2.7	8.2	8
	Pavimentada	N33107			137	3.3	97	3.0	8.3	8
Estrada nacional N200	Pavimentada	N20009001	49	7.73E+03	120	0.7	797	24.1	1.0	1
	Pavimentada	N20002502	78	1.05E+04	107	0.5	398	22.4	1.0	1
	Pavimentada	N20004003	48	1.32E+04	280	0.5	404	23.5	1.0	1
	Pavimentada	N20052004	96	1.55E+04	98	0.5	432	24.6	1.0	1
	Pavimentada	N20068005	423	6.19E+04	158	1.4	568	4.6	3.9	4
	Pavimentada	N20084006	165	2.83E+04	95	1.0	401	15.1	1.0	1
	Pavimentada	N20010007	201	2.78E+04	107	0.9	164	20.6	1.0	1
	Pavimentada	N20011808	215	2.56E+04	123	1.0	124	20.5	1.0	1
	Pavimentada	N20013409	650	9.02E+04	120	1.2	268	20.3	1.0	1
Estrada nacional N201	Pavimentada	N20100801	329	3.98E+04	309	4.1	40	2.9	8.3	8
	Pavimentada	N20101302			140	3.6	74	3.0	8.2	8
	Pavimentada	N20101903			123	3.5	54	3.4	8.0	8
	Pavimentada	N20102304	566	6.89E+04	124	3.5	62	3.1	8.2	8
Estrada nacional N202	Pavimentada	N2020401	340	5.97E+04	97	1.9	196	3.1	8.2	8

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Analisando a Tabela 5.10 pode-se verificar que no geral as rodovias pertencentes à rede rodoviária terciária se encontram em rápida deterioração. Ao analisar os valores de IRI e PASER da rodovia R401 e R402 que são as únicas que se encontram pavimentadas verifica-se que estas se encontram com mais de 50% de sua extensão em processo de degradação, sendo que a rodovia R402 se encontra com os seus pavimentos em estado final de serviço, não podendo suportar quaisquer cargas de tráfego por ela passando.

As outras rodovias pertencentes à Rede Terciária apresentam similar comportamento obtendo valores de IRI e PASER que indicam o completo estado de falha da estrutura dos mesmos. Sendo rodovias não pavimentadas sem que as camadas de base possam receber quaisquer

tipos de tratamentos de forma a aumentar a sua capacidade de suporte, possibilitando uma rápida e maior deterioração, consequentemente, maior deverão ser as intervenções de manutenção. O estado atual demonstrado pelos resultados na Tabela 5.10 indica que mais de 90% se encontram em avançado estado de deterioração necessitando de urgente intervenção.

Tabela 5.10 - Segmentos homogêneos com valores de PASER correlacionados com IRI (rede não pavimentada) – Dados de 2006

Rod.	Superfície	Segmento homogêneo	TMD	N (10 ⁴)	MR	SN	DEF	IRI	PASER Interpolação	PASER
Estrada Regional R400	Pavimentada	R400701	283	4.72E+04	109	2.4	325	2.8	8.3	8
	Pavimentada	R401002		92	1.9	526	4.4	5.1	5	
	Pavimentada	R401603		115	2.3	292	4.2	5.9	6	
	Pavimentada	R402104		127	2.4	319	2.7	8.4	8	
	Pavimentada	R402605		130	2.4	350	4.2	5.8	6	
Estrada Regional R401	Pavimentada	R4010501	495	6.14E+04	85	2.7	332	3.3	8.1	8
	Pavimentada	R4021302		50	2.0	422	4.9	3.6	4	
	Pavimentada	R4011903		68	2.2	331	6.8	2.7	3	
	Pavimentada	R4012904		69	2.3	311	7.6	2.3	2	
	Pavimentada	R4013905		82	2.6	304	6.8	2.7	3	
	Pavimentada	R4014206		86	2.4	375	2.3	8.7	9	
	Pavimentada	R4014607		91	2.2	352	3.4	8.1	8	
Estrada Regional R402	Não Pavimentada	R4021001	333	6.91E+04	370	2.1	384	7.7	2.2	2
	Não Pavimentada	R4023402	95	3.49E+04	252	0.7	425	24.5	1.0	1
	Não Pavimentada	R4026303	105	3.03E+04	137	0.7	541	23.3	1.0	1
	Não Pavimentada	R4029504	105	2.56E+04	204	0.8	329	22.8	1.0	1
Estrada Regional R403	Não Pavimentada	R4030401	112	1.10E+04	112	0.4	382	24.8	1.0	1
	Não Pavimentada	R4031002	394	1.63E+04	108	0.8	940	23.2	1.0	1
	Não Pavimentada	R4033403		97	0.8	397	24.6	1.0	1	
	Não Pavimentada	R4034203	211	1.14E+04	92	0.8	383	23.3	1.0	1
Estrada Regional R404	Não Pavimentada	R4040701	225	3.03E+04	70	0.6	624	19.5	1.0	1
	Não Pavimentada	R4041452	225	3.03E+04	124	0.9	347	22.7	1.0	1
Estrada Regional R405	Não Pavimentada	R4052101	482	8.13E+04	414	0.9	204	24.7	1.0	1
	Não Pavimentada	R4053202		284	0.9	288	23.2	1.0	1	
	Não Pavimentada	R4054103		159	0.8	297	21.8	1.0	1	
	Não Pavimentada	R4054804		180	0.9	328	22.0	1.0	1	
	Não Pavimentada	R4055205		104	1.40E+05	443	0.9	316	22.7	1.0
Estrada Regional R406	Pavimentada	R4061201	72	7783.404	94	0.8	308	24.4	1.0	1
	Não Pavimentada	R4062102			103	0.7	441	23.8	1.0	1
	Não Pavimentada	R4064003			314	0.7	405	23.3	1.0	1
	Pavimentada	R4065404			271	0.8	372	19.3	1.0	1
	Pavimentada	R4067005			192	0.8	505	22.6	1.0	1
	Pavimentada	R4067005			192	0.8	505	22.6	1.0	1
Estrada Regional R407	Não Pavimentada	R4070901	182	2.01E+04	165	2.8	306	3.8	7.8	8
	Não Pavimentada	R4071302	345	1.92E+04	117	0.9	306	19.8	1.0	1
	Não Pavimentada	R4072204	125	1.94E+04	85	0.8	389	18.3	1.0	1
	Não Pavimentada	R4072805		91	0.8	334	10.4	3.5	4	
	Não Pavimentada	R4073506	130	1.96E+04	69	0.7	377	10.1	3.5	4
	Não Pavimentada	R4073506	130	1.96E+04	69	0.7	377	10.1	3.5	4
Estrada Regional R408	Não Pavimentada	R4080801	72	8.05E+03	124	0.9	268	15.2	1.0	1
	Não Pavimentada	R4081802		147	0.8	366	18.2	1.0	1	
	Não Pavimentada	R4083103	74	8.29E+03	124	0.7	482	17.5	1.0	1
	Não Pavimentada	R4084704	102	7.81E+03	99	0.6	736	18.9	1.0	1
	Não Pavimentada	R4085705	141	7.50E+03	100	0.6	518	21.3	1.0	1
	Não Pavimentada	R4086006		97	0.7	455	16.1	1.0	1	
Estrada Regional R409	Não Pavimentada	R4090601	200	1.25E+04	65	0.6	291	17.9	1.0	1
	Não Pavimentada	R4091302		1.25E+04	69	0.6	301	18.9	1.0	1
Estrada Regional R411	Não Pavimentada	R4110601	97	7.87E+03	215	0.9	153	22.5	1.0	1
	Não Pavimentada	R4111102	79	9.2E+03	226	1.0	134	18.6	1.0	1
	Não Pavimentada	R41118503		356	0.8	94	24.6	1.0	1	
	Não Pavimentada	R4112804		288	0.8	54	24.6	1.0	1	
Estrada Regional R412	Não Pavimentada	R4121301	189	1.40E+04	220	0.9	196	24.9	1.0	1
	Não Pavimentada	R4121902			142	0.8	297	21.2	1.0	1
	Não Pavimentada	R4122403			143	0.9	226	22.7	1.0	1
	Não Pavimentada	R4123204			198	1.1	130	21.8	1.0	1
	Não Pavimentada	R4123905			176	0.9	218	22.6	1.0	1
	Não Pavimentada	R4123905			176	0.9	218	22.6	1.0	1

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

5.3 APLICAÇÃO DO ROADSOFT-GIS

Com os dados dos valores de PASER introduzidos no programa Roadsoft-GIS, através da interpolação dos valores de IRI em 2006, e os levantamentos realizados em 2007 e 2008, apresenta-se neste capítulo um resumo geral da condição da rede rodoviária da Província de Maputo, conforme as Figuras 5.29 e 5.30 e, um estudo de caso envolvendo uma rodovia pertencente à rede rodoviária da província de Maputo, Estrada Nacional (N1), devido ao fato da mesma ser a responsável pelo maior volume de tráfego em toda Província.

5.3.1 Condição Geral da Rede

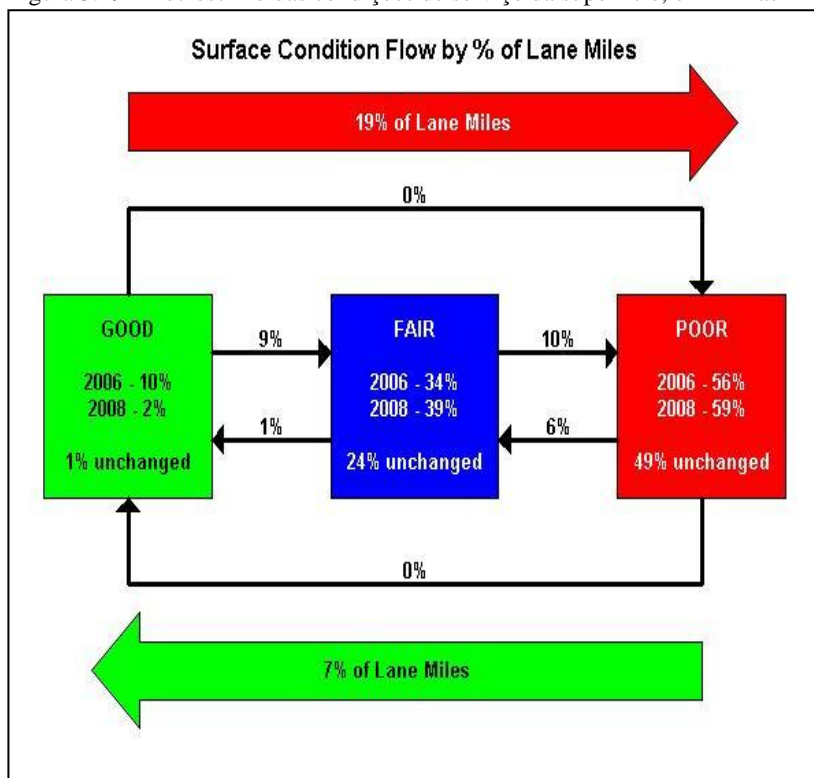
Conforme disposto na seção 4.3, foram realizados dois levantamentos em 2007 e outro em 2008. Dos pavimentos constituintes da rede da Província de Maputo, verificou-se, através do RoadSoft-GIS, que entre os anos 2006 e 2008, houve um decréscimo de 13% no estado dos pavimentos conforme a Figura 5.29. Verificou-se ainda que, conforme a Figura 5.30, que cerca de 59% da rede rodoviária da província se encontra no estado mau, no que se refere às atividades a serem desenvolvidas, de forma a melhorar o estado da rede e consequentemente, aumentar a vida útil dos pavimentos.

A Figura 5.30 demonstra que, entre os anos 2006 e 2008, a rede rodoviária de Maputo perdeu cerca de 9% da percentagem de pavimentos em bom estado de serviço (PASER 10-8) para um estado médio (PASER 8-6) e, cerca de 10% da percentagem de pavimentos em estado médio, decresceram para mau estado de deterioração.

Verifica-se também no mesmo período que 6% da percentagem de pavimentos em estado avançado de deterioração conseguiram ser melhorados e que 1% da percentagem de pavimentos em estado moderado conseguiu ser melhorado para uma condição boa. Assim dito verifica-se que as percentagens de recuperação do estado de deterioração da rede de 7% referente ao melhoramento da condição são muito pequenas em relação à percentagem de 19% decréscimo da condição da rede.

Para entender todos os procedimentos do sistema RoadSoft-GIS, nas seções seguintes se encontra um estudo de caso detalhado com toda sequência de forma a gerar programas e estratégias de intervenção para uma rodovia.

Figura 5.29 - Decréscimo das condições de serviço da superfície, em milhas

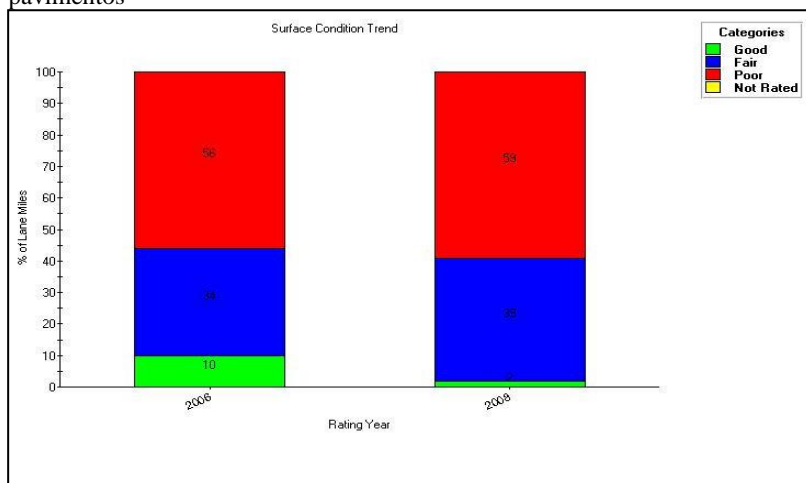


Legenda:

1. *Surface Condition Flow by % of Lane Miles*: Diagrama da condição de superfície em % por faixa de rodagem
2. *Good*: Bom
3. *Fair*: Moderado
4. *Poor*: Péssimo
5. *Unchanged*: Mantido

Fonte: Dados de pesquisa (RoadSoft-GIS) (2010).

Figura 5.30 - Tendência de decréscimo das condições de serviço dos pavimentos



Legenda:

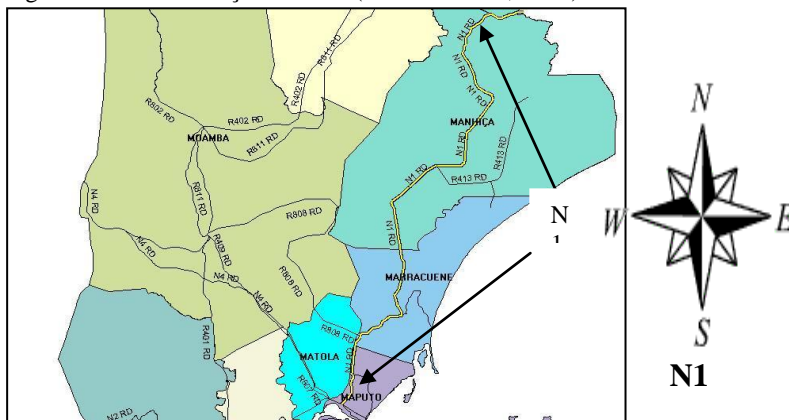
1. *Surface Condition Trend*: Tendência da condição de superfície
2. *Rating year*: Condição por ano
3. *Categories*: Categoria

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

5.3.2 Estudo de Caso – Estrada Nacional Número 1 (N1)

A N1 é uma das principais rodovias da rede primária da Província de Maputo. O trecho que conecta a Capital da Província da Maputo com a Capital da Província de Gaza situada tem uma extensão aproximada de 210 quilômetros. Para este estudo foram estudados 129 quilômetros (81 milhas), no interior da Província de Maputo, passando pelos distritos de Maputo, Marracuene e Manhiça, conforme demonstra a Figura 5.31.

Figura 5.31 - Localização da N1 - (RoadSoft-GIS, 2010)



Fonte: Dados da pesquisa (2010).

O tráfego médio diário anual (TMDA) é de 5415 veículos (2006) e um número equivalente de eixo padrão (N) no valor anual de $4,85+E05$, considerando uma taxa de crescimento de 12% ano que, segundo Carvalho (2006), é considerado de tráfego pesado. O pavimento em toda sua extensão possui uma estrutura de 63 mm de revestimento asfáltico constituída por Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ), uma base betuminosa de macadame hidráulico e uma sub-base de solo-cimento com CBR de 50%.

5.3.2.1 Apresentação do estado dos pavimentos

A N1 se encontra razoavelmente em bom estado. A Tabela 5.11 apresenta o resumo dos valores atribuídos pela classificação PASER e a vida de serviço restante Remaining Service Life (RSL) do pavimento. A vida restante do pavimento significa o tempo restante que o pavimento possui até atingir o limite mínimo de condições de serviço.

A Tabela 5.11 demonstra também que entre os anos 2006 e 2007 houve uma melhoria no estado dos segmentos homogêneos do pavimento devido às melhorias aplicadas em segmentos da rodovia. Estas, porém não demonstraram ser eficientes uma vez que os valores de RSL 2008 apresentam ser bem menores.

Tabela 5.11 - Resumo das classificações PASER e a RSL (Vida Restante de Serviço)

SEG. HOMOGÊNEO	2006	2007	2008	RSL
N10301	6	7	5	5
N10902	6	7	6	9
N11403	5	8	7	9
N12804	7	7	6	8
N14205	5	8	6	7
M15406	7	8	6	8
N18107	5	8	6	7
N18508	7	8	6	8
N110709	7	8	5	7
N112410	7	8	5	8
N113411	7	8	5	8

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Segundo o cálculo da vida média de serviço restante do pavimento que se encontra fixada em 7,6 e a classificação PASER média de 6, significa que o pavimento se encontra em processo avançado de formação de trincas longitudinais, transversais, existência de trincas em bloco e avançada perda de finos da camada de desgaste do pavimento. Verifica-se que seria necessária uma intervenção de forma a minimizar a degradação do pavimento e aumentar a vida restante de serviço do pavimento.

Três estratégias foram analisadas para apresentar a melhor forma de melhorar ou manter os pavimentos com uma RSL acima de 7, conforme nos itens seguintes.

5.3.2.2 Estratégias para manutenção do pavimento

De forma a determinar as melhores combinações de intervenções a serem realizadas para manter o pavimento em bom estado, maximizando a vida de serviço restante (RSL) dos pavimentos, estratégias foram elaboradas, consoante as pré-disposições do IRSS (Nova Estratégia Integrada para o Setor Rodoviário), objetivando a maximização técnica das intervenções e o seu benefício.

5.3.2.2.1 Estratégia 1- ANE 1

Consiste na realização de intervenções de manutenção rotineira de forma a preservar o estado de serviço da rodovia. A análise decorreu perante as premissas, listadas a seguir, conforme a Figura 5.32.

- Avaliação PASER: 7, em 2008;
- Intervalo de Estudo 20 anos;
- Período de Início da Análise: 2009;
- Período de Término de Análise 2029;
- Extensão avaliada: 129 km (81 milhas);
- Tipos de Intervenções:
 - Manutenção Rotineira (PM): Selagem de Trincas em 120 milhas: significa que das 81 milhas (129,5 Km) durante cinco anos, de 2008 a 2013, serão somente realizados trabalhos de selagem de trincas em toda extensão da rodovia; de forma a manter o valor de PASER igual a 7;
 - Manutenção Rotineira (PM) Tratamento Superficial Simples - 18 milhas: significa que das 81 milhas (129,5km) sejam realizados em 18 milhas (28,8km) de tratamento superficial simples nas milhas mais críticas de forma a aumentar os valores de PASER de seis a oito entre os anos de 2015;
 - Manutenção Rotineira (PM) Tratamento Superficial Duplo 60 milhas: significa que das 81 milhas (129,5km) sejam realizados em 60 milhas (96km) de tratamento superficial duplo entre os anos de 2017 e 2018, de forma a melhorar os valores de PASER que estarão em queda, permitindo o aumento dos valores de PASER de 5 a 8
 - Reconstrução, Aumento da Capacidade Estrutural – 30 milhas: 230mm base e 77mm camada de revestimento: significa que das 81 milhas (129,5km) em 30 milhas sejam aplicados tratamentos superficiais duplos durante os anos de 2023 e 2024, melhorando os valores de PASER de 2 para 10.

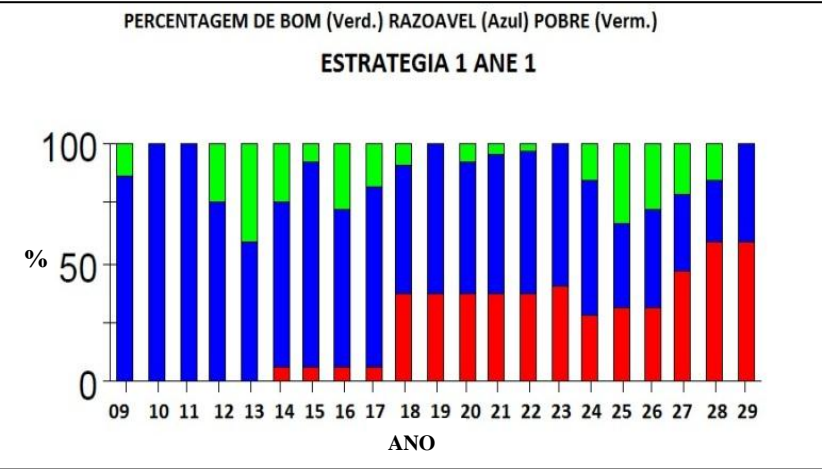
Figura 5.32 - Descrição da estratégia - (RoadSoft-GIS, 2009)

Try done engineer 1 – Asphalt-Standard										
Treatment	Trigger	Reset	\$\$/Sq Yd		\$/Mile	Year		Miles	\$/Year	\$/Total Years
			Surface	Shoulder		From	To			
(PM (CPM)) Crack Seal	7	7	\$10.30	\$0.00	\$66,469.33					
						1	1	15.000	\$997,040.00	\$997,040.00
						2	2	30.000	\$1,994,080.00	\$1,994,080.00
						3	3	30.000	\$1,994,080.00	\$1,994,080.00
						4	4	30.000	\$1,994,080.00	\$1,994,080.00
						5	5	15.000	\$997,040.00	\$997,040.00
(PM (CPM)) Sealcoat	6	8	\$12.96	\$0.10	\$83,752.53					
						6	6	18.000	\$1,507,545.60	\$1,507,545.60
(PM (CPM)) Sealcoat Double+	5	8	\$13.60	\$0.10	\$87,882.67					
						9	9	30.000	\$2,636,480.00	\$2,636,480.00
						10	10	30.000	\$2,636,480.00	\$2,636,480.00
(RC (SI)) Reconstruction – 230mm base, 77mm top	2	10	\$22.50	\$7.00	\$153,413.33					
						13	14	30.000	\$4,602,400.00	\$9,204,800.00

Fonte: Dados da pesquisa (2010).

Com esta estratégia tentou-se colocar um cenário em que a falta de fundos leva as autoridades do setor rodoviário a investirem o mínimo possível, de forma manter a condição existente, não aumentando o estado de degradação do pavimento. As Figuras 5.33 e 5.34 apresentam os valores para a vida restante do pavimento e a percentagem de milhas em condições boas regulares e péssimas, para esta estratégia, para os próximos 20 anos. Nesta estratégia tentou-se simular a prática corrente da ANE na Província, conforme apresentado no capítulo 2.3, Contextualização do Setor Rodoviário Moçambicano.

Figura 5.33 - Percentagem de milhas boas, regulares e pobres (simulação Estratégia 1)



Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-GIS.

Figura 5.34 - Média por ano da vida restante do pavimento



Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-GIS.

Analisando a Figura 5.33 e 5.34 verificou-se que nos primeiros cinco anos realizando-se somente selagem de trincas, como estipulado na estratégia e demonstrado na Figura 5.35 não aumenta o valor residual da RSL do pavimento. Este valor vai decrescendo até o sexto ano quando se realiza o tratamento superficial simples e no ano seguinte quando se realiza o tratamento superficial duplo. Esta intervenção não se mostra muito eficiente também porque um número pequeno de milhas fora contemplado, não aumentando a sua capacidade estrutural.

A Figura 5.35 apresenta o custo anual para cada intervenção. Pode-se verificar que pequenos investimentos não foram realizados nos primeiros seis anos. Ao exemplo da Figura 5.33, estes primeiros investimentos significaram que o pavimento manteve em condições regulares de tráfego, mas ao mesmo tempo vários segmentos do pavimento passaram de moderados para regulares. Verifica-se claramente pela Figura 5.35 que do primeiro ano para o terceiro, a RSL caiu de 9 para 6. A Figura 5.35 mostra os custos anuais de investimentos da estratégia 1.

Figuras 5.35 - Custos por ano para a estratégia 1



Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-GIS.

5.3.2.2.2 Estratégia 2 - ANE 2

Consiste na realização de intervenções de manutenção rotineira de forma a preservar o estado de serviço da rodovia. A análise decorreu perante as seguintes premissas.

- Avaliação PASER: 7 em 2008;
- Intervalo de Estudo 20 anos;
- Período de Início da Análise: 2009;
- Período de Término de Análise 2029;
- Extensão avaliada: 129 km (81 milhas);
- Tipos de Intervenções:
 - Manutenção Rotineira (PM): Selagem de Trincas 140 milhas: o que significa que das 81 milhas (129,6km) durante cinco anos e por dois anos, sejam aplicadas selagem de trincas em 100 milhas (80km), sendo 50 milhas por ano. Seguidamente durante três anos, a partir do sexto ano sejam aplicadas 20 milhas (32km) por ano de selagem de trincas. Esta abordagem permitirá manter os valor de PASER 7.
 - Manutenção Rotineira (PM) Tratamento Superficial Simples - 90 milhas: significando que durante três anos a partir do ano três, sejam aplicados tratamentos superficiais simples em 80 milhas (128km) e no sétimo ano cerca de 50 milhas (80km), abrangendo todas as 81

milhas da rodovia. Com esta abordagem pretende-se elevar os valores de PASER de 6 a 8.

- Manutenção Rotineira (PM) Tratamento Superficial Duplo 135 milhas: o que significa que nos primeiros dois anos sejam aplicados 70 milhas (120km) de tratamento superficial duplo. O mesmo seja aplicado no ano 11 e no ano 16, sendo que 35 milhas (56km) e 30 milhas (48km). Esta abordagem permite elevar os valores de PASER de 5 para 8
- Reconstrução, Aumento da Capacidade Estrutural – 25 milhas: 230 mm base e 77 mm camada de rolamento: Significando que no ano 15 sejam realizados reconstrução em cerca de 25 milhas (40 km), elevando os valores de PASER de 2 a 10, melhorando os valores de PASER de 2 a 10.

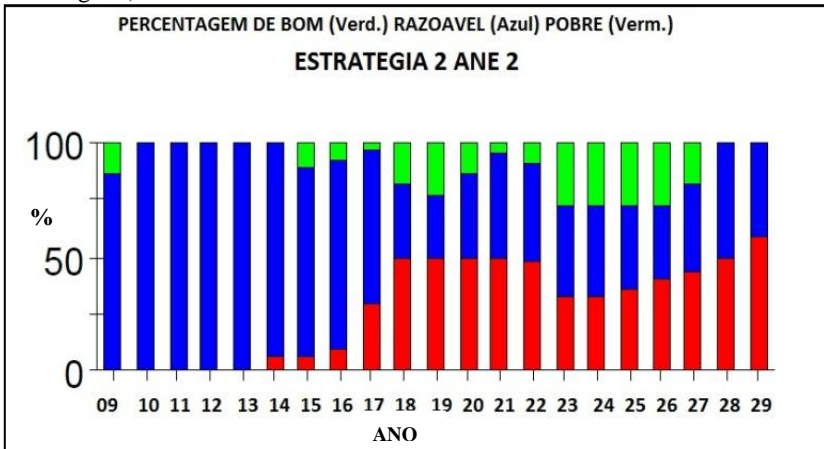
Da mesma forma como na análise anterior, as Figuras 5.36 e 5.37 apresentam os valores para a vida restante do pavimento e a percentagem de milhas em condições boas, regulares e pobres, para os próximos 20 anos. Nesta estratégia tentou-se usar o máximo de recursos para a prática de manutenção preventiva. Tornando a análise o mais realista do que realmente se encontra a ser realizado pela ANE.

Figura 5.36 - Descrição da estratégia 2

Try done engineer 2 – Asphalt-Standard										
Treatment	Trigger	Reset	\$/Sq Yd		\$/Mile	Year		Miles	\$/Year	\$/Total Years
			Surface	Shoulder		From	To			
(PM (CPM)) Crack Seal	7	7	\$10.30	\$0.00	\$66,469.33					
						5	5	50.000	\$3,323,466.67	\$3,323,466.67
						6	6	50.000	\$3,323,466.67	\$3,323,466.67
						8	8	20.000	\$1,329,386.67	\$1,329,386.67
						9	9	20.000	\$1,329,386.67	\$1,329,386.67
						10	10	20.000	\$1,329,386.67	\$1,329,386.67
(PM (CPM)) Sealcoat	6	8	\$12.96	\$0.10	\$83,752.53					
						3	3	40.000	\$3,350,101.33	\$3,350,101.33
						4	4	40.000	\$3,350,101.33	\$3,350,101.33
						7	7	50.000	\$4,187,626.67	\$4,187,626.67
(PM (CPM)) Sealcoat Double +	5	8	\$13.60	\$0.10	\$87,882.67					
						1	1	35.000	\$3,075,893.33	\$2,636,480.00
						2	2	35.000	\$3,075,893.33	\$2,636,480.00
						11	11	35.000	\$3,075,893.33	\$2,636,480.00
						16	16	30.000	\$2,636,480.00	\$2,636,480.00
(RC (SI)) Reconstruction – 230mm base, 77mm top	2	10	\$22.50	\$7.00	\$153,413.33					
						15	15	30.000	\$3,835,333.33	\$9,204,800.00

Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-Gis.

Figura 5.37 - Percentagem de milhas boas, regulares e pobres (Simulação Estratégia 2)



Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-Gis.

Analisando-se a Figura 5.36 e 5.37 verifica-se que, nos nove anos seguintes, o RSL foi diminuindo consideravelmente, conforme a Figura 5.38. Somente com investimento, com tratamento superficial duplo a RSL volta a aumentar e causar uma melhoria substancial ao pavimento.

Figura 5.38 - Média por ano da vida restante do pavimento



Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-Gis.

A Figura 5.39 apresenta o custo anual que o órgão rodoviário desembolsaria tendo o mesmo ponto de vista utilizado na estratégia anterior. Vários segmentos do pavimento diminuiram a sua RSL uma vez que não se conseguiu colocar disponibilidade de recursos.

Figura 5.39 - Distribuição de custo por ano para a Estratégia 2



Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-GIS.

5.3.2.2.3 Estratégia 3 - Otimização RoadSoft-GIS

Consiste na realização de intervenções de manutenção rotineira de forma a preservar o estado de serviço da rodovia. A Figura 5.40 mostra a descrição da estratégia. A análise decorreu a partir das seguintes premissas.

- Avaliação PASER: 7 em 2008;
- Intervalo de Estudo 20 anos;
- Período de Início da Análise: 2009;
- Período de Término de Análise 2029;
- Extensão avaliada: 129 km (81 milhas);
- Tipos de Intervenções:
 - Manutenção Rotineira (PM): Selagem de Trincas-0 milhas;
 - Manutenção Rotineira (PM): Tratamento Superficial Simples - 40 milhas (64km) nos primeiros cinco anos;
 - Manutenção Rotineira (PM) Tratamento Superficial Duplo 37 milhas (59.2km) durante os seguintes oito

anos;

- Reconstrução, Aumento da Capacidade Estrutural – 7 milhas (11,2 km) durante os sete anos seguintes a aplicação dos tratamentos superficiais 230mm base e 77mm camada de rolamento.

Figura 5.40 - Descrição da Estratégia

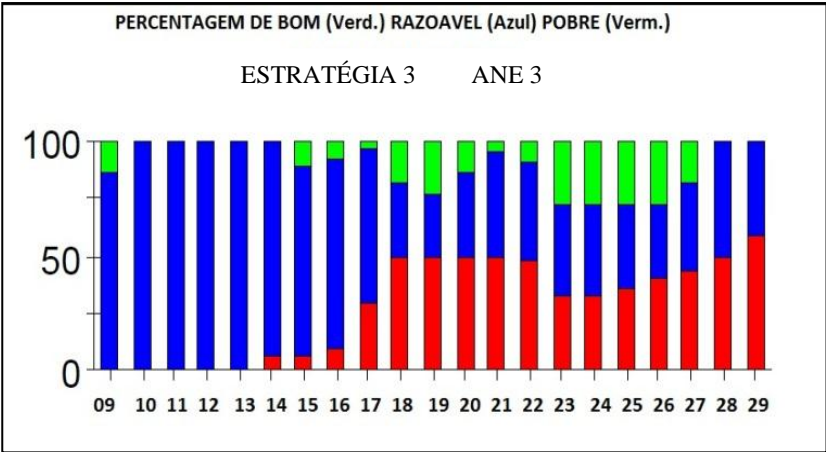
Optimized the N2 – Asphalt-Standard										
Treatment	Trigger	Reset	\$/\$ Sq Yd		\$/Mile	Year		Miles	\$/Year	\$/Total Years
			Surface	Shoulder		From	To			
(PM (CPM)) Sealcoat	6	8	\$12.96	\$0.10	\$83,752.53					
						1	1	10.000	\$837,525.33	\$837,525.33
						3	3	12.089	\$1,012,459.25	\$1,012,459.25
						4	4	10.604	\$888,120.24	\$888,120.24
						5	5	9.302	\$779,049.31	\$779,049.31
(PM (CPM)) Sealcoat Double +	5	8	\$13.60	\$0.10	\$87,882.67					
						6	6	7.776	\$683,375.62	\$683,375.62
						7	7	6.821	\$599,456.46	\$599,456.46
						8	8	5.983	\$525,837.15	\$525,837.15
						9	9	5.249	\$461,260.96	\$461,260.96
						10	10	4.604	\$404,611.80	\$404,611.80
						11	11	4.039	\$354,922.94	\$354,922.94
						12	12	3.543	\$311,341.92	\$311,341.92
						13	13	3.108	\$273,104.18	\$273,104.18
(RC (SI)) Reconstruction – 230mm base, 77mm top	2	10	\$22.50	\$7.00	\$153,413.33					
						14	14	1.562	\$239,570.26	\$239,570.26
						15	15	1.370	\$210,145.58	\$210,145.58
						16	16	1.202	\$184,341.46	\$184,341.46
						17	17	1.054	\$161,697.65	\$161,697.65
						18	18	0.925	\$141,845.97	\$141,845.97
						19	19	0.811	\$124,418.21	\$124,418.21
						20	20	0.711	\$109,138.25	\$109,138.25

Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-GIS.

Nesta estratégia utilizou-se uma abordagem de forma a manter a RSL a mais alta possível e, com isso, distribuir os recursos para atividades de correção mais profundas do que as demais. Ao invés de usar a selagem de trincas durante os primeiros anos, procurou-se usar mais os tratamentos superficiais simples e duplos que fornecem uma maior vida útil dos pavimentos. Esta abordagem possibilitou que um menor número de pavimentos estivesse sujeitos a uma reconstrução, adiando ao máximo possível esta intervenção.

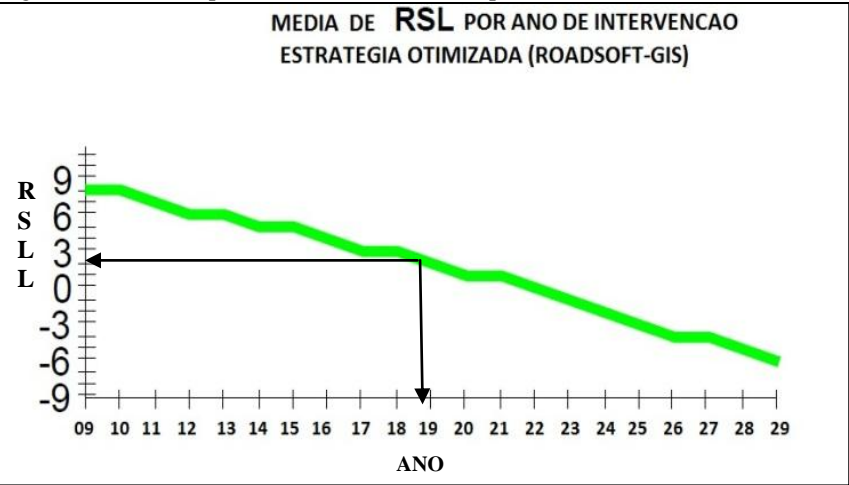
A Figura 5.40 apresenta o custo anual para cada intervenção. Pode-se verificar pequenos investimentos realizados nos primeiros seis anos. A Figura 5.41, mostra que estes primeiros investimentos significaram que o pavimento se manteve em condições regulares de tráfego, mas ao mesmo tempo vários segmentos do pavimento passaram de bons para regulares. Verifica-se claramente pela Figura 5.42 que, do primeiro ano para o terceiro, a RSL caiu de 9 para 6.

Figura 5.41 - Percentagem de milhas boas, regulares e pobres (Simulação Estratégia 3)



Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-GIS.

Figura 5.42 - Média por ano da vida restante do pavimento

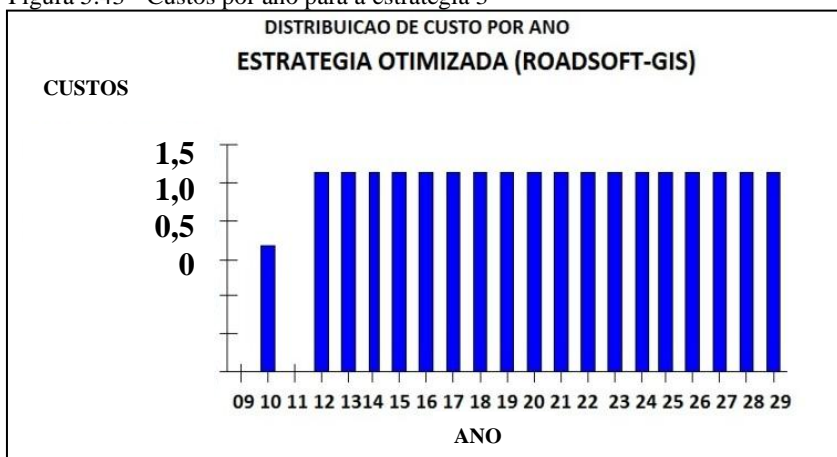


Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-GIS.

Os custos apresentados na Figura 5.43 na ordem dos 1,5 milhões de Dólares, distribuídos de igual forma a partir do ano 2012, devolvem o aumento na vida de serviço restante do pavimento. Se for comparadas as Figuras 5.38 e 5.42, verifica-se que, após a manutenção

preventiva com recurso aos tratamentos superficiais simples, os pavimentos melhoraram em toda sua extensão.

Figura 5.43 - Custos por ano para a estratégia 3



Fonte: Dados da pesquisa (2010) e resultados RoadSoft-GIS.

5.3.2.3 Análise Comparativa estratégia versus estratégia

Para procurar uma melhor estratégia que se ajuste a rede em estudo, uma análise comparativa foi realizada entre as diversas estratégias acima descritas tendo como horizonte um período de análise de 20 anos e os seguintes parâmetros:

- A avaliação PASER;
- A vida de serviço do pavimento (RSL);
- Análise de Custos.

5.3.2.3.1 Avaliação PASER e RSL

A Tabela 5.12 apresenta um resumo das previsões PASER e a vida restante do pavimento para cada ano durante o período de análise adotado.

Tabela 5.12 - Resumo das classificações PASER e a RSL para estratégia 1, 2 e 3

Estratégia	PASER								
	2009			2015			2019		
	Milhas	%	Aval.	Milhas	%	Aval.	Milhas	%	Aval.
1	132	100	7	95.682	59.3	>7	66.428	51.5	>7
2	132	100	7	70.457	43.6	>7	63.74	24.6	>7
3	132	100	7	123.545	82.7	>7	65.761	40.8	>7

Estratégia	RSL								
	2009			2015			2019		
	Milhas	RSL	Aval.	Milhas	RSL	Aval.	Milhas	RSL	Aval.
1	132	7	100	33.75	>6		60.429	>6	37.47
2	132	7	100	70.457	>6		79.678	>6	49.40
3	132	7	100	37.197	>6		40.359	>6	25.02

Fonte: Dados da pesquisa, 2010.

Observando-se os dados da Tabela 5.12, pode-se verificar que a tendência de todas elas no final do período é de uma redução quanto ao estado de serviço e quanto à vida remanescente do pavimento. A estratégia de otimização demonstra que há partir do ano 2009, ocorreu um decréscimo acelerado na vida remanescente do pavimento como na classificação PASER. Isto se deve ao fato da necessidade de uma intervenção mais profunda como a realizada no início do projeto. As estratégias 1 e 2 apresentam também decréscimos no RSL e na previsão PASER, mas não tão acentuados como a estratégia de otimização (Estratégia 3).

Para Estratégia 1, de 2009 a 2015, existe uma queda de quase 48 %, onde 95,682 milhas/faixa deixaram de fazer parte do grupo das rodovias com valores de PASER e RSL superiores a 7, classificação esta que não requer nenhuma intervenção de estrutura como reforço ou reconstrução.

Para Estratégia 2, utilizando o mesmo parâmetro de análise acima descrito, verifica-se que no período de 2009 a 2015 cerca de 67,6% dos segmentos passaram a necessitar de uma intervenção profunda.

Segmentos com avaliações inferiores a 7 pela metodologia PASER, e com RSL menores que 6 pelo programa RoadSoft-GIS indicam que os segmentos se encontram com severos defeitos, como o surgimento de trincas longitudinais superiores a 50% da área do pavimento, trincas com larguras superiores a 3", painéis e remendos em excesso.

Na Estratégia 3, gerada pela otimização, verificou-se que a queda não é tão acentuada como nas outras, sendo somente 17,3% em 2015. Percebe-se isto ao analisar a Figura 5.37.

Por conseguinte, obtendo este cenário o órgão público responsável pelo financiamento dos trabalhos de intervenção nesta rodovia poderá optar por qualquer uma das Estratégias. O único critério para a escolha do tipo de estratégia a ser utilizado será o orçamento disponível.

5.3.2.3.2 Avaliação de custos

A Estratégia 1, para o período de 20 anos, necessitaria de 27.983.577 USD de forma a se obter uma vida de serviço superior a 7 no final dos 20 anos, representando somente 37,47 % do total das extensões dos segmentos estudados. Isto significa que seria necessário investir o equivalente a 1.399.178,85 USD por ano, caso fizesse alguma intervenção nos segmentos todo ano.

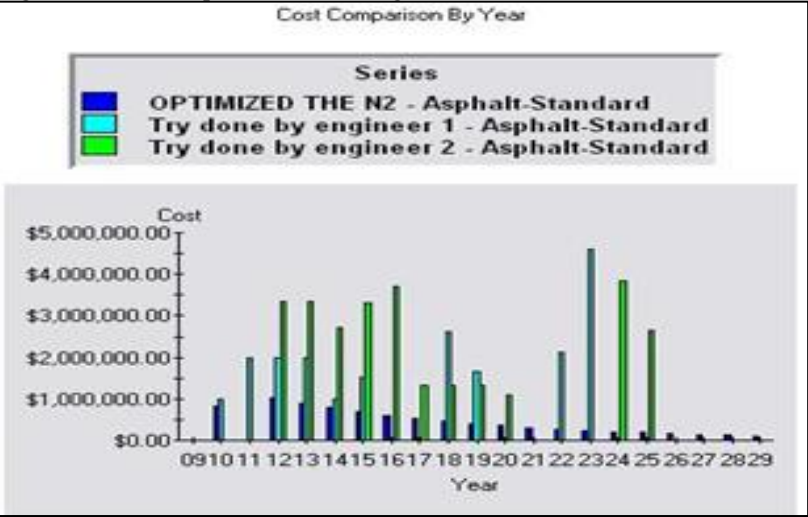
A Estratégia 2, para o mesmo período, necessitaria de 20.450.539,00 USD para poder ter uma vida de serviço superior a 7 no final do período de 20 anos, o que representa somente 50% das extensões dos segmentos estudados. Necessitaria de 1.022.526,95 USD anualmente durante 20 anos.

A Estratégia 3 para mesmo período necessitaria de somente 8.301.777 USD para obter 25% dos seus segmentos com avaliações superiores a 7, também no mesmo período. Percebe-se que, tanto a 1 e a 2, fizeram algum tipo de reconstrução no décimo ano, mas mesmo assim a percentagem de segmentos com avaliação PASER 7 ainda continuaria menor se nestas estratégias tivessem mais recursos.

A Figura 5.44 apresenta um gráfico comparativo demonstrando os valores aplicados na rede por ano entre as Estratégias 1 e 2 comparando com os valores e da Estratégia 3. Permite verificar claramente que, nem sempre, o uso de maiores investimentos em momentos pontuais produzem melhoramentos à condição geral da rede, mas sim a aplicação de investimentos de forma contínua permite obter melhores resultados na condição geral da rede.

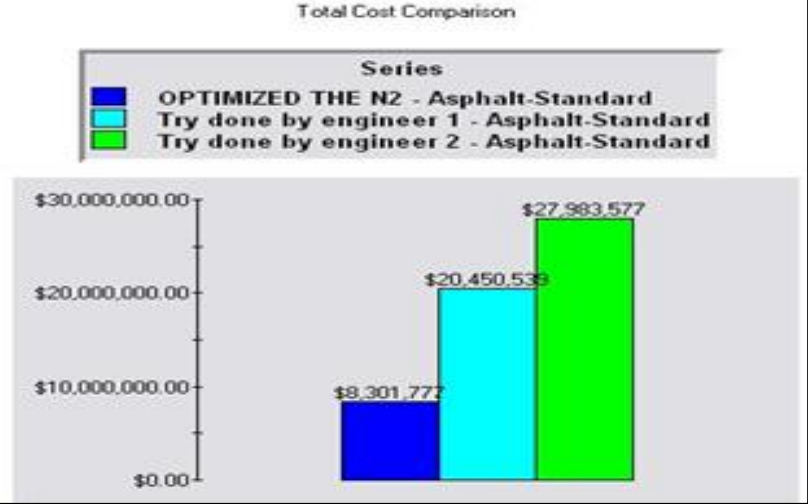
A Figura 5.45 apresenta um gráfico demonstrando os valores totais a serem aplicados durante os 20 anos de análise. Verificou-se uma discrepância enorme entre os valores aplicados, sendo que o menor investimento é o que apresenta os melhores resultados em termos de melhoria em relação à condição da rede.

Figura 5.44 - Custo por ano das estratégias



Fonte: RoadSoft-GIS (2010).

Figura 5.45 - Comparação do custo total das estratégias



Fonte: RoadSoft-GIS (2010).

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

De forma geral, o intuito desta pesquisa foi apresentar uma possível alternativa para implementar medidas políticas concisas para o desenvolvimento do setor rodoviário moçambicano.

Por isso, se tentou entender o estado dos pavimentos existentes através da análise de dados coletados e apresentados por estudos desenvolvidos pelas diversas entidades ligadas ao setor, tendo como principais premissas a nova abordagem implementada pelo governo moçambicano em 2007.

Deste modo, verificando a condição geral da rede de Província de Maputo, pode-se verificar que entre os anos 2006 e 2008, a rede decresceu a sua condição. Cerca de 13% passaram de uma condição de boa para pobre. Isso ocorreu pelo tipo de intervenção introduzida na rede rodoviária. Manutenções de rotina simplesmente não ajudaram a aumentar a vida de serviço dos pavimentos pertencentes à rede.

O contínuo uso de manutenções de rotina em uma rede que possui mais de 60% em mau estado além de não devolverem aos pavimentos um aumento da sua vida de serviço conseguida através de reabilitação e resultam num maior número de extensões perdendo seu melhor estado.

Por outro lado, o fato dos órgãos rodoviários não possuírem capital suficiente para uma intervenção mais abrangente, contribui consequentemente para este decréscimo. A política normalmente utilizada, que consiste em deixar os pavimentos pertencentes às redes chegarem ao estado último de utilização, fazendo unicamente melhoramentos localizados e manutenção de rotina, para depois justificar uma reabilitação, não constitui em uma boa prática para gestão rodoviária.

Destaca-se também, o fato de não se dispor de uma base de dados confiável, não efetuar levantamentos periódicos da rede rodoviária, se torna um pouco difícil diagnosticar o estado em que os pavimentos se encontram e mais difícil ainda, traçar um diagnóstico mais compreensivo da mesma. Dispor de um sistema para reunir dados ao longo do tempo é fundamental para que se possa elaborar um programa anual/plurianual de intervenção na rede.

6.1 CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, a seguir são apresentadas as

principais conclusões que podem contribuir ao presente estado de conhecimento do setor rodoviário em Moçambique.

Foram levantadas as características estruturais para cada rodovia que compõe as diferentes classes de rodovias da província de Maputo.

Para o tipo de levantamento e os tipos de dados encontrados nos demais estudos disponíveis este resumo apresenta ser o mais completo. Mesmo que em alguns aspetos durante o processo de investigação parcela da informação sobre o histórico dos pavimentos não estivessem disponíveis.

Dos dados levantados permite obter a descrição dos pavimentos no que se refere ao tipo, à estrutura, às características geométricas, a sua classificação em termos de nomenclatura (rede primária, secundária e terciária) e à evolução do tráfego.

No mesmo sentido, os dados de levantamentos superficiais e estruturais realizados no período são de extrema importância, pois permitem entender a evolução da degradação dos pavimentos sob as cargas do tráfego. Apesar dos levantamentos acima descritos, verificou-se a insuficiência de dados disponíveis sobre levantamentos funcionais, que permitiriam uma melhor análise e melhor entendimento da evolução do desempenho dos pavimentos.

Os três levantamentos realizados na rede terem ocorrido em períodos de tempo relativamente curtos considerando que não existe nenhum outro levantamento realizado antes de 2000 e depois de 2007. Fica perfeitamente demonstrado a falta de continuidade no processo de avaliação para criação de um banco de dados o que consequentemente afeta a correta implementação de um Sistema de Gerência, uma vez que uma base de dados deve ser constantemente atualizada de forma a servir de base para as análises e tomadas de decisão para um sistema de gerencia Pavimentos.

6.2 ANÁLISE E ESTABELECIMENTO DE PADRÕES DE DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS EXISTENTES

Mediante os dados obtidos pelos levantamentos e de forma a entender a deterioração dos pavimentos através do estabelecimento de padrões de desempenho, os modelos de regressão demonstraram ser os mais indicados.

O modelo de previsão de desempenho definido por Paterson mostrou ser adequado para avaliar a evolução dos defeitos nas rodovias pavimentadas. Ficou evidenciado que os pavimentos estão numa

evolução de degradação mais acentuada do que previsto, cerca de 20% se for considerado o estabelecido pela N1.

Por outro lado, para rodovias não pavimentadas tomando consideração às mesmas premissas deste modelo, também se mostraram estar com a mesma abordagem de forma subjetiva, uma vez que estes modelos são usados para rodovias pavimentadas.

Para uma futura implantação destes modelos em sistema de gerência, deverá ter-se o cuidado de utilizar parâmetros e dados que possam ser mensuráveis fisicamente e que possam ser obtidos dentro da política orçamentária dos órgãos rodoviários Moçambicanos.

Contudo, estes dados podem ser utilizados como ponto de partida para poder entender o futuro dos pavimentos através de pesquisas mais profundas de modelagem matemática e estatística, de forma a se trazer uma maior veracidade no processo de deterioração dos pavimentos em Maputo.

6.2.1 Aplicação do Sistema Paser/Roadsoft-GIS

O sistema de coleta de dados PASER é um sistema muito simples de se utilizar, podendo ser facilmente empregado nos órgãos rodoviários de Moçambique. Permite um levantamento da condição de superfície do pavimento. O sistema apresenta somente um computador e um GPS, sendo muito mais simples que os atuais sistemas para levantamentos superficiais clássicos. É possível alimentar e manter uma base de dados atualizada com custos reduzidos. Fornece a acurácia adequada para uma base de dados de um sistema de gerenciamento de pavimentos.

A interpolação realizada permitiu perceber que os valores de IRI levantados em anos anteriores puderam ser utilizados como parâmetros de introdução no programa RoadSoft-GIS.

Ao comparar a evolução de deterioração apresentada pelo RoadSoft-GIS entre 2006 a 2008 com a evolução da deterioração obtidas pelos levantamentos entre 2000 a 2006 e analisadas sobre o ponto de vista clássico de avaliação através do recurso ao modelo desempenho definido por Paterson (1986), verifica-se uma razoável consistência uma vez que duas demonstram que os pavimentos estão em constante diminuição do seu estado de serviço e cada vez mais se aproximando do Ponto Crítico do Pavimento.

Sendo um programa de gerenciamento que faz uma análise em nível de rede, o RoadSoft-GIS apresentou uma grande versatilidade no

que se refere à introdução de vários tipos de manutenção e reconstrução, podendo assim, ser utilizado por órgãos rodoviários. Esta é uma premissa de extrema importância para a nova estratégia sendo implementada em Moçambique através o IRSS 2007-2011.

Através do estudo de caso para Estrada Nacional Número 1, o Sistema RoadSoft-GIS permitiu verificar que as atuais formas de planeamento plurianual, realizadas em Moçambique, possuem um retorno em termos de benefício. A estratégia otimizada pelo programa se apresenta como sendo a que melhor se adequaria às atuais condições em Moçambique. A estratégia prolongaria em 10 anos a vida útil da rodovia. Contudo, o investimento inicial pode não ser adequado às características financeiras de um órgão rodoviário como o Moçambicano.

6.3 RECOMENDAÇÕES

Após esta pesquisa e conclusão deste estudo, apresenta-se como sugestões e recomendações para continuidade das pesquisas, os seguintes pontos:

- Continuar com as medições e avaliações da irregularidade longitudinal e das deflexões para melhorar e calibrar os modelos de previsão para melhor prever o desempenho dos pavimentos.
- Nas futuras pesquisas a serem desenvolvidas para estudos e projetos, as seções de monitoramento devem ser expandidas de forma a englobar mais características semelhantes tornando a análise de desempenho dos pavimentos mais abrangente;
- Efetuar calibrações do Sistema RoadSoft-GIS para melhorar sua previsão do estado futuro do pavimento.

REFERÊNCIAS

AASHTO. *Guide for Design of Pavements Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington/DC: AASHTO, 1993, 545p.

_____. *Guide for Design of Pavements Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC: AASHTO, 1998, 450 p.

ANE. *The integrated road strategy: final Report*. Institute of Transportation Planning Inter; Consultec, Engenheiros Consultores, Autoridade Nacional de Estradas. - Maputo, Mozambique: ANE, 2001.

_____. *Contagem de níveis de tráfego*. Administração Nacional de Estradas Moçambique, Maputo, Mozambique, 2003.

_____. *Aspectos Gerais da Rede*. Autoridade Nacional de Estradas, Maputo. 2004.

_____. *Roads III Appraisal Report*. Autoridade Nacional de Estradas, Maputo Moçambique, 2004.

_____. *Revised road sector strategy volume I*. Stuart Scott International Consultec Engenheiros Consultores, Maputo, Mozambique, 2006.

BALBO, J. T. *Pavimentos asfálticos patologias e manutenção*. Sao Paulo: Plêiade, 1997, 100 p.

COSTA NETO, P. L. O. Estatística. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2002. 280 p.

DEIGHTON, R. A.; BLAKE, D. G. Improvements of Utah's location referencing system to allow data integration. Third International Conference on Managing Pavements, v. 1, San Antonio, Texas/USA, 1994.

DNER. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER PRO 011/79. *Avaliação estrutural de pavimentos*

flexíveis. Rio de Janeiro, 1979.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER ME 024/94. **Determinação da Bacia de Deflexão pela Viga Benkelman.** Rio de Janeiro: DNIT, 1994.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Calibração e Controle de Sistemas Medidores de Irregularidade da Superfície do Pavimento Sistemas Integradores IPR/USP.** Rio de Janeiro: DNER, 1994a.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER PRO 182/94. **Medição da irregularidade do pavimento.** Rio de Janeiro: DNER, 1994b.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER PRO 273/96. **Determinação da deflexão utilizando FWD.** Rio de Janeiro: DNER, 1996.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro: DNER, 2000.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro: DNER, 2004, 85p.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro: DNER, 2006.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos:** NORMA DNIT 006/2003 – PRO. Rio de Janeiro: DNIT, 2003.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos.** Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

_____. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA

DE TRANSPORTES. **Manual de gerência de pavimentos**. Rio de Janeiro: DNIT, 2011, 189 p.

DONG, J. *Use of road data collection information*. Michigan Technological University, Lansing, 2007.

FERNANDES Junior, J. L.; ODA, S.; ZERBINI, F. L. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2001.

GONÇALVES, F. J. P. **Desempenho de pavimentos flexíveis**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

GONCALVES, F. J. P. et al. **Avaliação de medidas de deformação vertical no subleito de uma estrutura de pavimento flexível**. Brasília: COBRAMSEG, 1998.

GONCALVES, F. J. P. *Study of permanent deformations in asphalt concrete*. Road Engineering Annual Meeting. Nothigam: UK, 1999b. p. 38-51.

GOOGLE CORPORATION. Google. **Google Corporation**, 29 May 2007. Disponível em: <http://www.google.com/Top/Regional/Africa/Mozambique/Maps_and_VIEWS/>. Acesso em: 1 Mar. 2009.

GORDON, K. *Good practices of low volume roads*. **Transport Research Board**, Washington DC, 2006, 34p.

HAAS, R.; HUDSON, W. R. *Pavement management system*. New York: McGraw Hill. 1978, 457p.

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. *Modern pavement management*. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1994, 583 p.

INE. **Censo geral de Moçambique**. Instituto Nacional de Estatística, Maputo Moçambique, 2000.

INTERNATIONAL, H.; AFRICON; TOI. **The Reclassification of The**

Mozambique Road Network. Maputo, Mozambique. 2004.

KUO, W. H. *Pavement performance models for pavement management System of Michican department of transportation.* **Internal Report. Michigan Department of Transportation,** Lansing, 1995.

LYTTON, R. L. *Concepts of pavement performance prediction and modeling.* 2nd North American Conference on Managing Pavements. Ann Arbor: University of Michigan, 1987.

MARCON, A. F. **Contribuição ao desenvolvimento de um sistema de gerencia de pavimentos para a malha rodoviária estadual de Santa Catarina.** 1996. Tese (Doutorado) Instituto Tecnológico de Aeronáutico, São Jose dos Campos, SP, 1996, 361p.

_____. **Sistemas de gerência de pavimentos.** Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis, 2004 (Apostila).

MICHIGAN LOCAL TECHNICAL ASSISTANCE PROGRAM.
PASER to RoadSoft -GIS Guide Houghton MI. Michigan Technological University, 2003.

NAKAHARA, S. M. **Estudo do desempenho de reforços de pavimentos asfálticos.** 2002. 312 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2002.

NASCIMENTO, Deise Menezes. **Análise dos modelos de desempenho de pavimentos flexíveis.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006, 154p.

QUEIROZ, C. A. *Performance prediction models for pavement management in Brazil.* Tese (Doutorado) Faculty of Graduate School of the University of Texas. Austin TX, 1981, 317p.

PATERSON, W. D. O. *International roughness index: relationship to other measures of roughness and riding quality.* Transport Research Record, 1986.

PHILLIPS, Lucy D.; FREEMAN, Reed. *Rapid assessment technologies*

for unbound pavement layers. 2000. Disponível em: <<http://pavement.wes.army.mil/papers/39/Paper39.PDF>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

PREUSSLER, P.; SUZUKI C, Y. Micro revestimento asfáltico a frio na via dupla. **XIII Congresso Ibero-Latino Americano del Asfalto**. San Jose: CILA. 2005.

ROADSOFT-GIS. 2007. Disponível em: <http://www.roadsoft.org>>. Acesso em: 15 ago. 2010.

_____. 2009. Disponível em: <<http://www.roadsoft.org>>. Acesso em: 15 ago. 2010.

_____. 2010. Disponível em: <<http://www.roadsoft.org>>. Acesso em: 15 ago. 2010.

RODRIGUES, R M. Estudo do trincamento dos pavimentos. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação da Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 1991.

SCHWARTS, G. *Rails GIS Truck Speed Maintenance* – Railways – Copenhagen, 1991.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. Sao Paulo: PINI, 2006.

SHAHIN, M. Y.; *Pavement management for airports: roads and parking lots*. New York: Springer, 1994.

SHRP. *Distress identification manual for the long term pavement performance studies*. Washington: TRB, 1989.

SILVA, F. de M. e, et al. *Meanginful use of collected local roads data and information*. Midwest Regional University Transportation Center of Engineering. Madison: University of Wisconsin, 2008.

SILVA, F. D. M. **Sistema de gerência de pavimento para Mocambique**. Conselho Coordenador. Maputo: Autoridade Nacional de Estradas. 2005.

SMITH., R. E. ***Highway pavement distress identification manual***. Washington: FHWA, 1980.

STEINERT, Byran C.; HUMPHREY, Dana N.; KESTLER, Maureen A. ***Portable falling weight deflectometer study***. Department of Civil and Environmental Engineering University of Maine Orono, Maine, mar. 2005, 331 p.

SSI. ***The integrated road strategy 2007-2011 Final Report***. Stuart Scot International, Maputo, Mozambique, 2006, 60p.

USGS. U.S. **Geological Survey**. Disponível em: <<http://www.usgs.gov/>>. Acesso em: 20 mai. 2004; 15 mai, 2006.

WORLD BANK. ***Roads III Appraisal Report***. Maputo, Mozambique, 2001.

WTIC. ***Pavement surface evaluation and rating: gravel manual***. Wisconsin Transportation Information Center. University of Wisconsin-Madison/USA, 2003a.

_____. ***Pavement surface evaluation and rating: sealcoat manual***. Wisconsin Transportation Information Center. University of Wisconsin-Madison/USA, 2003b.

_____. ***Pavement surface evaluation and rating: asphalt manual***. Wisconsin Transportation Information Center. University of Wisconsin-Madison/USA, 2003c.

YSHIBA, J. K. Modelo de desempenho de pavimentos: estudo de rodovias do Estado do Paraná. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2003.

WALKER, Donald; ENTINE, Lynn; KUMMER, Susan. ***Asphalt PASER Manual: transportation, information Center***. University of Wisconsin, Madison, USA, 2002a.

WALKER, Donald; ENTINE, Lynn; KUMMER, Susan. ***Sealcoat PASER Manual: transportation, information Center***. University of Wisconsin, Madison, USA, 2002b.

WALKER, Donald; ENTINE, Lynn; KUMMER, Susan. ***Gravel PASER Manual***: *transportation, information Center*. University of Wisconsin, Madison, USA, 2002c.

APÊNDICES

Apêndice A- Características Gerais dos Pavimentos Subdivisão em Segmentos Homogêneos

Rod	Id	Km	Course	MR	SN	Esp. 1	Esp. 2	D0			IRI			TMD	N (10 ⁴ m ²)
N1	T1909	0	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	111,248	2,33	-0,11	-0,11		
N1	T1909	500	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	222,496	2,40	-0,04	-0,04	2601	421447,3
N1	T1144	608	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	333,744	2,51	0,07	0,07		
N1	T1144	1000	0	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	444,992	1,23	-1,21	-1,21		
N1	T1144	1000	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	556,24	1,22	-1,22	-1,22		
N1	T1144	1227	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	667,488	5,42	2,98	2,98		
N1	T1144	1227	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	778,736	9,92	7,48	7,48		
N1	T1144	1500	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	889,984	6,60	4,16	4,16		
N1	T1144	2000	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	1001,23	5,31	2,87	2,87		
N1	T1144	2500	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	1112,48	8,12	5,68	5,68	21969	4280069
N1	T1102	2708	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	1223,73	10,97	8,53	8,53		
N1	T1102	3000	0	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	1334,98	5,68	3,24	3,24		
N1	T1102	3000	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	1446,22	5,68	3,24	3,24		
N1	T1102	3152	0	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	1557,47	5,03	2,59	2,59		
N1	T1102	3152	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	1668,72	5,68	3,24	3,24		
N1	T1102	3500	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	1779,97	4,57	2,13	2,13		
N1	T1102	4000	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	1891,22	3,73	1,29	1,29		
N1	T1102	4500	1	180,17	2,62	1,97	15,75	200,379	111,248	2002,46	3,23	0,79	0,79		
N1	T1102	5000	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2042,18	5,34	2,90	2,90		
N1	T1102	5500	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2081,9	5,01	2,56	2,56		
N1	T1102	6000	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2121,61	3,32	0,88	0,88		
N1	T1102	6500	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2161,33	3,72	1,28	1,28		
N1	T1102	7000	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2201,04	3,61	1,17	1,17		
N1	T1102	7500	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2240,76	8,23	5,79	5,79	13828,4	2584593
N1	T1124	8000	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2280,47	3,52	1,08	1,08		
N1	T1124	8500	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2320,19	4,03	1,58	1,58		
N1	T1124	9000	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2359,91	3,98	1,54	1,54		
N1	T1124	9294	0	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2399,62	5,22	2,78	2,78		
N1	T1124	9294	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2439,34	2,95	0,50	0,50		
N1	T1124	9500	1	155,31	2,99	1,97	15,75	128,846	39,7157	2479,05	2,42	-0,02	-0,02		
N1	T1124	10000	1	173,56	2,76	1,18	13,78	102,377	13,2464	2492,3	2,27	-0,17	-0,17		
N1	T1124	10500	1	173,56	2,76	1,18	13,78	102,377	13,2464	2505,55	2,19	-0,25	-0,25		
N1	T1124	11000	1	173,56	2,76	1,18	13,78	102,377	13,2464	2518,79	2,19	-0,25	-0,25		
N1	T1124	11500	1	173,56	2,76	1,18	13,78	102,377	13,2464	2532,04	2,29	-0,15	-0,15		
N1	T1124	12000	1	173,56	2,76	1,18	13,78	102,377	13,2464	2545,28	2,58	0,14	0,14		
N1	T1124	12500	1	173,56	2,76	1,18	13,78	102,377	13,2464	2558,53	2,71	0,26	0,26		
N1	T1124	13000	1	173,56	2,76	1,18	13,78	102,377	13,2464	2571,78	2,73	0,29	0,29		
N1	T1124	13500	1	173,56	2,76	1,18	13,78	102,377	13,2464	2585,02	2,89	0,44	0,44		
N1	T1124	14000	1	173,56	2,76	1,18	13,78	102,377	13,2464	2598,27	2,08	-0,36	-0,36		
N1	T1124	14500	1	173,56	2,76	1,18	13,78	102,377	13,2464	2611,52	3,15	0,71	0,71		
N1	T1124	15000	1	189,63	2,48	1,18	13,78	141,854	52,7234	2664,24	2,59	0,14	0,14		
N1	T1124	15500	1	189,63	2,48	1,18	13,78	141,854	52,7234	2716,96	2,33	-0,11	-0,11		
N1	T1124	16000	1	189,63	2,48	1,18	13,78	141,854	52,7234	2769,69	2,56	0,11	0,11		
N1	T1124	16500	1	189,63	2,48	1,18	13,78	141,854	52,7234	2822,41	1,90	-0,54	-0,54		
N1	T1124	17000	1	189,63	2,48	1,18	13,78	141,854	52,7234	2875,13	1,81	-0,63	-0,63		
N1	T1124	17500	1	189,63	2,48	1,18	13,78	141,854	52,7234	2927,86	1,75	-0,69	-0,69		
N1	T1124	18000	1	189,63	2,48	1,18	13,78	141,854	52,7234	2980,58	2,18	-0,26	-0,26	9700,15	2109336
N1	T1169	18500	1	189,63	2,48	1,18	13,78	141,854	52,7234	3033,3	2,39	-0,05	-0,05		
N1	T1169	19000	1	189,63	2,48	1,18	13,78	141,854	52,7234	3086,03	2,50	0,05	0,05		
N1	T1169	19500	1	189,63	2,48	1,18	13,78	141,854	52,7234	3138,75	2,66	0,22	0,22		
N1	T1169	20000	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3161,92	2,73	0,29	0,29		
N1	T1169	20500	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3185,09	1,64	-0,80	-0,80		
N1	T1169	21000	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3208,25	2,04	-0,40	-0,40		
N1	T1169	21500	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3231,42	2,13	-0,31	-0,31		
N1	T1169	22000	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3254,59	1,62	-0,82	-0,82		
N1	T1169	22500	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3277,76	2,10	-0,35	-0,35		
N1	T1169	23000	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3300,92	2,62	0,18	0,18		
N1	T1169	23500	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3324,09	3,23	0,79	0,79		
N1	T1169	24000	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3347,26	2,27	-0,18	-0,18		

N1	T1169	23500	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3324,09	3,23	0,79	0,79		
N1	T1169	24000	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3347,26	2,27	-0,18	-0,18		
N1	T1169	24500	1	175,57	2,48	1,97	11,81	112,298	23,1677	3370,43	2,10	-0,34	-0,34		
N1	T1169	25000	1	250,73	2,63	1,97	11,81	91,369	2,23842	3372,67	2,40	-0,05	-0,05		
N1	T1169	25500	1	250,73	2,63	1,97	11,81	91,369	2,23842	3374,9	2,90	0,45	0,45		
N1	T1169	26000	1	250,73	2,63	1,97	11,81	91,369	2,23842	3377,14	2,44	0,00	0,00		
N1	T1169	26500	1	250,73	2,63	1,97	11,81	91,369	2,23842	3379,38	2,03	-0,41	-0,41		
N1	T1169	27000	1	250,73	2,63	1,97	11,81	91,369	2,23842	3381,62	1,73	-0,72	-0,72		
N1	T1169	27500	1	250,73	2,63	1,97	11,81	91,369	2,23842	3383,86	2,45	0,00	0,00		
N1	T1169	28000	1	250,73	2,63	1,97	11,81	91,369	2,23842	3386,1	2,52	0,08	0,08		
N1	T1169	28500	1	250,73	2,63	1,97	11,81	91,369	2,23842	3388,34	2,48	0,04	0,04		
N1	T1169	29000	1	250,73	2,63	1,97	11,81	91,369	2,23842	3390,57	2,40	-0,04	-0,04		
N1	T1169	29500	1	250,73	2,63	1,97	11,81	91,369	2,23842	3392,81	3,00	0,56	0,56		
N1	T1169	30000	1	140,73	3,05	1,97	15,75	127,246	38,1151	3430,93	2,81	0,37	0,37		
N1	T1169	30500	1	140,73	3,05	1,97	15,75	127,246	38,1151	3469,04	2,60	0,16	0,16	5096	821563,1
N1	T1118	31000	1	140,73	3,05	1,97	15,75	127,246	38,1151	3507,16	2,81	0,36	0,36		
N1	T1118	31500	1	140,73	3,05	1,97	15,75	127,246	38,1151	3545,27	2,03	-0,41	-0,41		
N1	T1118	32000	1	140,73	3,05	1,97	15,75	127,246	38,1151	3583,39	1,91	-0,54	-0,54		
N1	T1118	32500	1	140,73	3,05	1,97	15,75	127,246	38,1151	3621,5	2,32	-0,12	-0,12		
N1	T1118	33000	1	140,73	3,05	1,97	15,75	127,246	38,1151	3659,62	2,56	0,12	0,12		
N1	T1118	33500	1	140,73	3,05	1,97	15,75	127,246	38,1151	3697,73	2,04	-0,40	-0,40		
N1	T1118	34000	1	140,73	3,05	1,97	15,75	127,246	38,1151	3735,85	2,01	-0,43	-0,43		
N1	T1118	34500	1	140,73	3,05	1,97	15,75	127,246	38,1151	3773,96	1,93	-0,51	-0,51		
N1	T1118	35000	1	331,65	4,27	1,97	15,75	44,9243	-44,206	3729,76	2,60	0,16	0,16		
N1	T1118	35500	1	331,65	4,27	1,97	15,75	44,9243	-44,206	3685,55	2,29	-0,15	-0,15		
N1	T1118	36000	1	331,65	4,27	1,97	15,75	44,9243	-44,206	3641,34	2,24	-0,21	-0,21		
N1	T1118	36500	1	331,65	4,27	1,97	15,75	44,9243	-44,206	3597,14	2,15	-0,30	-0,30		
N1	T1118	37000	1	331,65	4,27	1,97	15,75	44,9243	-44,206	3552,93	2,32	-0,12	-0,12		
N1	T1118	37500	1	331,65	4,27	1,97	15,75	44,9243	-44,206	3508,73	2,02	-0,42	-0,42		
N1	T1118	38000	1	331,65	4,27	1,97	15,75	44,9243	-44,206	3464,52	2,51	0,07	0,07		
N1	T1118	38500	1	331,65	4,27	1,97	15,75	44,9243	-44,206	3420,31	2,33	-0,11	-0,11		
N1	T1118	39000	1	331,65	4,27	1,97	15,75	44,9243	-44,206	3376,11	2,60	0,16	0,16		
N1	T1118	39500	1	331,65	4,27	1,97	15,75	44,9243	-44,206	3331,9	2,63	0,19	0,19		
N1	T1118	40000	1	262,1	3,11	1,97	15,75	119,877	30,7468	3362,65	2,58	0,14	0,14		
N1	T1118	40500	1	262,1	3,11	1,97	15,75	119,877	30,7468	3393,39	1,98	-0,46	-0,46		
N1	T1118	41000	1	262,1	3,11	1,97	15,75	119,877	30,7468	3424,14	2,00	-0,44	-0,44		
N1	T1118	41500	1	262,1	3,11	1,97	15,75	119,877	30,7468	3454,89	1,88	-0,57	-0,57		
N1	T1118	42000	1	262,1	3,11	1,97	15,75	119,877	30,7468	3485,63	1,81	-0,63	-0,63		
N1	T1118	42500	1	262,1	3,11	1,97	15,75	119,877	30,7468	3516,38	1,77	-0,67	-0,67		
N1	T1118	43000	1	262,1	3,11	1,97	15,75	119,877	30,7468	3547,13	1,81	-0,63	-0,63		
N1	T1118	43500	1	262,1	3,11	1,97	15,75	119,877	30,7468	3577,87	1,82	-0,62	-0,62		
N1	T1118	44000	1	262,1	3,11	1,97	15,75	119,877	30,7468	3608,62	1,98	-0,46	-0,46		
N1	T1118	44500	1	262,1	3,11	1,97	15,75	119,877	30,7468	3639,37	2,00	-0,44	-0,44		
N1	T1118	45000	1	244,2	4,02	1,97	15,75	56,152	-32,979	3606,39	1,71	-0,74	-0,74		
N1	T1118	45500	1	244,2	4,02	1,97	15,75	56,152	-32,979	3573,41	2,92	0,48	0,48		
N1	T1118	46000	1	244,2	4,02	1,97	15,75	56,152	-32,979	3540,43	1,53	-0,92	-0,92		
N1	T1118	46500	1	244,2	4,02	1,97	15,75	56,152	-32,979	3507,45	1,66	-0,73	-0,73		
N1	T1194	47500	1	244,2	4,02	1,97	15,75	56,152	-32,979	3441,5	1,65	-0,79	-0,79		
N1	T1194	48000	1	244,2	4,02	1,97	15,75	56,152	-32,979	3408,52	1,73	-0,71	-0,71		
N1	T1194	48500	1	244,2	4,02	1,97	15,75	56,152	-32,979	3375,54	1,67	-0,77	-0,77		
N1	T1194	49000	1	244,2	4,02	1,97	15,75	56,152	-32,979	3342,56	1,63	-0,81	-0,81		
N1	T1194	49500	1	244,2	4,02	1,97	15,75	56,152	-32,979	3309,58	1,51	-0,94	-0,94		
N1	T1194	50000	1	449,44	4,72	1,97	15,75	33,6558	-55,475	3254,11	1,85	-0,60	-0,60		
N1	T1194	50500	1	449,44	4,72	1,97	15,75	33,6558	-55,475	3198,63	1,60	-0,84	-0,84		
N1	T1194	51000	1	449,44	4,72	1,97	15,75	33,6558	-55,475	3143,16	1,58	-0,86	-0,86		
N1	T1194	51500	1	449,44	4,72	1,97	15,75	33,6558	-55,475	3087,68	1,58	-0,86	-0,86		
N1	T1194	52000	1	449,44	4,72	1,97	15,75	33,6558	-55,475	3032,21	1,88	-0,56	-0,56		
N1	T1194	52500	1	449,44	4,72	1,97	15,75	33,6558	-55,475	2976,73	1,57	-0,87	-0,87		
N1	T1194	53000	1	449,44	4,72	1,97	15,75	33,6558	-55,475	2921,26	1,88	-0,56	-0,56		
N1	T1194	53500	1	449,44	4,72	1,97	15,75	33,6558	-55,475	2865,78	2,08	-0,36	-0,36		
N1	T1194	54000	1	449,44	4,72	1,97	15,75	33,6558	-55,475	2810,31	1,85	-0,59	-0,59		
N1	T1194	54500	1	449,44	4,72	1,97	15,75	33,6558	-55,475	2754,83	1,73	-0,71	-0,71		
N1	T1194	55000	1	148,09	3,87	1,97	15,75	61,2812	-27,849	2726,96	1,76	-0,69	-0,69		
N1	T1194	55500	1	148,09	3,87	1,97	15,75	61,2812	-27,849	2699,13	1,74	-0,70	-0,70		
N1	T1194	56000	1	148,09	3,87	1,97	15,75	61,2812	-27,849	2671,29	1,69	-0,76	-0,76		
N1	T1194	56500	1	148,09	3,87	1,97	15,75	61,2812	-27,849	2643,44	1,57	-0,88	-0,88		
N1	T1194	57000	1	148,09	3,87	1,97	15,75	61,2812	-27,849	2615,59	1,79	-0,65	-0,65		
N1	T1194	57500	1	148,09	3,87	1,97	15,75	61,2812	-27,849	2587,74	1,74	-0,70	-0,70		
N1	T1194	58000	1	148,09	3,87	1,97	15,75	61,2812	-27,849	2559,89	1,70	-0,74	-0,74		
N1	T1194	58500	1	148,09	3,87	1,97	15,75	61,2812	-27,849	2532,04	2,26	-0,19	-0,19		
N1	T1194	59000	1	148,09	3,87	1,97	15,75	61,2812	-27,849	2504,19	1,78	-0,66	-0,66		
N1	T1194	59500	1	148,09	3,87	1,97	15,75	61,2812	-27,849	2476,34	1,65	-0,79	-0,79		
N1	T1194	60000	1	337,35	4,26	1,97	15,75	46,8781	-42,252	2434,09	2,18	-0,26	-0,26		
N1	T1194	60500	1	337,35	4,26	1,97	15,75	46,8781	-42,252	2391,83	2,23	-0,21	-0,21		
N1	T1194	61000	1	337,35	4,26	1,97	15,75	46,8781	-42,252	2349,58	2,29	-0,15	-0,15		
N1	T1194	61500	1	337,35	4,26	1,97	15,75	46,8781	-42,252	2307,33	1,90	-0,54	-0,54		
N1	T1194	62000	1	337,35	4,26	1,97	15,75	46,8781	-42,252	2265,08	2,09	-0,35	-0,35		
N1	T1194	62500	1	337,35	4,26	1,97	15,75	46,8781	-42,252	2222,82	2,12	-0,32	-0,32		
N1	T1194	63000	1	337,35	4,26	1,97	15,75	46,8781	-42,252	2180,57	2,20	-0,24	-0,24	1366,73	265539,2
N1	T1194	63500	1	337,35	4,26	1,97	15,75	46,8781	-42,252	2138,32	1,70	-0,74	-0,74		

N1	T1194	64000	1	337,35	4,26	1,97	15,75	46,8781	-42,252	2096,07	2,23	-0,22	-0,22		
N1	T1194	64500	1	337,35	4,26	1,97	15,75	46,8781	-42,252	2053,82	1,76	-0,68	-0,68		
N1	T1194	65000	1	302,47	4,18	1,97	15,75	50,3486	-38,782	2015,03	1,98	-0,46	-0,46		
N1	T1194	65500	1	302,47	4,18	1,97	15,75	50,3486	-38,782	1976,25	2,09	-0,35	-0,35		
N1	T1194	66000	1	302,47	4,18	1,97	15,75	50,3486	-38,782	1937,47	1,88	-0,56	-0,56		
N1	T1194	66500	1	302,47	4,18	1,97	15,75	50,3486	-38,782	1898,69	1,78	-0,67	-0,67		
N1	T1194	67000	1	302,47	4,18	1,97	15,75	50,3486	-38,782	1859,91	1,80	-0,65	-0,65		
N1	T1194	67500	1	302,47	4,18	1,97	15,75	50,3486	-38,782	1821,12	1,81	-0,64	-0,64		
N1	T1194	68000	1	302,47	4,18	1,97	15,75	50,3486	-38,782	1782,34	2,29	-0,16	-0,16		
N1	T1194	68500	1	302,47	4,18	1,97	15,75	50,3486	-38,782	1743,56	1,50	-0,94	-0,94		
N1	T1194	69000	1	302,47	4,18	1,97	15,75	50,3486	-38,782	1704,78	1,65	-0,80	-0,80		
N1	T1194	69500	1	302,47	4,18	1,97	15,75	50,3486	-38,782	1666	1,47	-0,98	-0,98		
N1	T1194	70000	1	221,98	3,67	1,97	15,75	73,3713	-15,759	1650,24	1,63	-0,81	-0,81		
N1	T1194	70500	1	221,98	3,67	1,97	15,75	73,3713	-15,759	1634,48	1,56	-0,88	-0,88		
N1	T1194	71000	1	221,98	3,67	1,97	15,75	73,3713	-15,759	1618,72	1,71	-0,73	-0,73		
N1	T1194	71500	1	221,98	3,67	1,97	15,75	73,3713	-15,759	1602,96	1,73	-0,72	-0,72		
N1	T1194	72000	1	221,98	3,67	1,97	15,75	73,3713	-15,759	1587,2	1,89	-0,55	-0,55		
N1	T1194	72500	1	221,98	3,67	1,97	15,75	73,3713	-15,759	1571,44	1,92	-0,53	-0,53		
N1	T1194	73000	1	221,98	3,67	1,97	15,75	73,3713	-15,759	1555,68	1,75	-0,69	-0,69		
N1	T1194	73500	1	221,98	3,67	1,97	15,75	73,3713	-15,759	1539,92	1,70	-0,74	-0,74		
N1	T1194	74000	1	221,98	3,67	1,97	15,75	73,3713	-15,759	1524,16	1,91	-0,53	-0,53		
N1	T1194	74500	1	221,98	3,67	1,97	15,75	73,3713	-15,759	1508,4	1,76	-0,68	-0,68		
N1	T1910	75000	1	198,1	3,12	1,97	15,75	120,911	31,7809	1540,18	2,19	-0,26	-0,26		
N1	T1910	75500	1	198,1	3,12	1,97	15,75	120,911	31,7809	1571,96	1,93	-0,52	-0,52		
N1	T1910	76000	1	198,1	3,12	1,97	15,75	120,911	31,7809	1603,75	1,52	-0,93	-0,93		
N1	T1910	76500	1	198,1	3,12	1,97	15,75	120,911	31,7809	1635,53	1,90	-0,54	-0,54		
N1	T1910	77000	1	198,1	3,12	1,97	15,75	120,911	31,7809	1667,31	1,90	-0,55	-0,55		
N1	T1910	77500	1	198,1	3,12	1,97	15,75	120,911	31,7809	1699,09	2,63	0,19	0,19		
N1	T1910	78000	1	198,1	3,12	1,97	15,75	120,911	31,7809	1730,87	2,07	-0,37	-0,37	1366,73	265539,2
N1	T1119	78500	1	198,1	3,12	1,97	15,75	120,911	31,7809	1762,65	1,62	-0,82	-0,82		
N1	T1119	79000	1	198,1	3,12	1,97	15,75	120,911	31,7809	1794,43	2,74	0,30	0,30		
N1	T1119	79500	1	198,1	3,12	1,97	15,75	120,911	31,7809	1826,21	1,61	-0,84	-0,84		
N1	T1119	80000	1	333,88	3,79	2,36	12,8	41,5043	-47,626	1778,59	1,74	-0,70	-0,70		
N1	T1119	80500	1	333,88	3,79	2,36	12,8	41,5043	-47,626	1730,96	1,84	-0,60	-0,60		
N1	T1119	81000	1	333,88	3,79	2,36	12,8	41,5043	-47,626	1683,33	1,62	-0,83	-0,83		
N1	T1119	81500	1	333,88	3,79	2,36	12,8	41,5043	-47,626	1635,71	1,63	-0,82	-0,82		
N1	T1119	82000	1	333,88	3,79	2,36	12,8	41,5043	-47,626	1588,08	1,85	-0,59	-0,59		
N1	T1119	82500	1	333,88	3,79	2,36	12,8	41,5043	-47,626	1540,45	1,85	-0,59	-0,59		
N1	T1119	83000	1	333,88	3,79	2,36	12,8	41,5043	-47,626	1492,83	1,76	-0,68	-0,68		
N1	T1119	83500	1	333,88	3,79	2,36	12,8	41,5043	-47,626	1445,2	1,76	-0,68	-0,68		
N1	T1119	84000	1	333,88	3,79	2,36	12,8	41,5043	-47,626	1397,58	1,71	-0,73	-0,73		
N1	T1119	84500	1	333,88	3,79	2,36	12,8	41,5043	-47,626	1349,95	2,06	-0,38	-0,38	2324	510403,4
N1	T1142	85000	1	311,97	3,89	2,36	12,8	39,3029	-49,828	1300,12	1,92	-0,52	-0,52		
N1	T1142	85500	1	311,97	3,89	2,36	12,8	39,3029	-49,828	1250,29	2,08	-0,36	-0,36		

Apêndice B - Cálculo do Número N

T909

Link_Id	FromKm	ToKm	AADT	automovels		Onibus		Caminhões Leves	Caminhões Médios	Reboque Articulado	Agricultural tractors
				CarMedium	GoodsVehicle	BusLight	BusMedium	TruckMedium	TruckHeavy	TruckArticulated	
T1909	0.000	0.748	2601	14.87	7.43	7.43	0.20	34.00	26.83	9.24	0.00
				22.30		7.63		34.00	26.83	9.24	0.00
				580.14		198.59		884.24	697.77	240.35	0.00

Ligeiros

Tipo de Veículo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_ %	VDM_ %	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga	Fator de Eixos
-----------------	------------	--------------------	-----------------	-----	---------	--------	------------------------------------	---------------------------	----------------	----------------

Automovei	2	0	580.14	1.589424	22%	22%	0.050	0.079471		
Utilitarios	2	6	0.00	0	0%	0%	0.300	0	0.709119	

Total

Pesado

Tipo de Veículo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_ %	VDM_ %	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga (FC)	Fator de Eixos (FE)
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	---------	--------	------------------------------------	---------------------------	---------------------	---------------------

Elxo Simples

Camões le	3	6	884.24	2.422579	34%	34%	0.300	0.726774		
Camões M	4	8	697.77	1.911706	27%	27%	1.000	1.911706		65.24115

Total

Elxo Tandem Duplo

Reboque//	4	12	240.35	0.658482	9%	9%	10.000	6.584818		
Onibus	3	10	198.59	0.544073	8%	8%	3.500	1.904255		34.04973

Total

Total Pesado

Total Veiculos	2601.08636	7.126264	100%	100%			11.20702	100		
----------------	------------	----------	------	------	--	--	----------	-----	--	--

Calculo num. N

FC	1.572637	
FE	3.333406	Numero N 421447.342
FV	4.906043	4.21E+05
VDM	7.126264	
P	9	
FR	0.7	

T1144

Link_Id	FromKm	ToKm	AADT	automóveis		Onibus		Caminhões Leves	Caminhões Médios	Reboque /Articulados	Agricultores
				CarMedium	GoodsVehicle	BusLight	BusMedium	TruckMedium	TruckHeavy	TruckArticulated	
	0.748	2.700	21969	35.21	17.61	17.61	20.22	5.96	2.50	0.84	0.04
				52.82		37.83		5.96	2.50	0.84	0.04
				11604.00		8311.00		1310.00	550.00	185.00	9.00

Ligeiros

Tipo de Veículo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_ %	VDM_ %	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automóvel	2	0	11604.00	31.79178	53%	53%	0.050	1.589589		
Utilitários	2	6	9.00	0.024658	0%	0%	0.300	0.007397	1.795505	

Total

Pesado

Tipo de Veículo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_ %	VDM_ %	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga (FC)	Fator de Eixos (FE)
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	---------	--------	------------------------------------	---------------------------	---------------------	---------------------

Eixo Simples

Camiões le	3	6	1310.00	3.589041	6%	6%	0.300	1.076712		
Camiões M	4	8	550.00	1.506849	3%	3%	1.000	1.506849	6.909107	

Total

Eixo Tandem Duplo

Reboque/t	4	12	185.00	0.506849	1%	1%	10.000	5.068493		
Onibus	3	10	8311.00	22.76986	38%	38%	3.500	79.69452	91.29539	

Total

Total Pesado

Total Veículos	21969	60.18904	100%	100%			88.94356	100		
----------------	-------	----------	------	------	--	--	----------	-----	--	--

Calculo num. N

FC	1.477737		
FE	3.894999	Numero N	4280068.64
FV	5.372736		4.28E+06
VDM	60.18904		
P	9		
FR	0.7		

T1102

				automovels		Onibus		Caminhões Leves	Caminhões Médios	Reboque (Articulado)	utilitarios
Link_Id	From/km	To/km	AADT	CarMedium	GoodVehicle	BusLight	BusMedium	TruckMedium	TruckHeavy	TruckArticulated	Agricultural tractors
T1102	2.700	7.728	13828	35.42	17.71	17.71	18.73	6.38	3.23	0.77	0.07
				53.12		36.43		6.38	3.23	0.77	0.07
				7346.08		5038.16		882.37	446.81	105.94	9.00

Ligeiros

Tipo de Veículo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automovel	2	0	7346.08	20.12625	53%	53%	0.050	1.006313	1.871116	
Utilitarios	2	6	9.00	0.024658	0%	0%	0.300	0.007397		

Total

Pesado

Tipo de Veículo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga FC	Fator de Eixos (FE)
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	--------	-------	------------------------------------	---------------------------	-------------------	---------------------

Eixo Simples

Caminhões le	3	6	882.37	2.417455	6%	6%	0.300	0.725236	6.696129	
Caminhões M	4	8	446.81	1.224131	3%	3%	1.000	1.224131		
Total										

Eixo Tandem Duplo

Reboque/A	4	12	105.94	0.290251	1%	1%	10.000	2.902509	91.43275	
Onibus	3	10	5038.16	13.80319	36%	36%	3.500	48.31117		
Total										

Total Pesado

Total Veiculos	13828.36635	37.88594	100%	100%	54.17675	100				
----------------	-------------	----------	------	------	----------	-----	--	--	--	--

Calculo num. N

FC	1.429996		
FE	3.895616	Numero N	2584592.845
FV	5.325613		2.58E+06
VDM	37.88594		
P	9		
FR	0.7		

T1124

Link_Id	FromKm	ToKm	AADT	automovels		Onibus		Caminhões Leves	Caminhões Médios	Reboques /Articulados	utilitarios
				Car/Medium	Good/Vehículo	Bus/Light	Bus/Medium	Truck/Medium	Truck/Heavy	Truck/Articulated	Agricultural tractors
T1124	7.728	18.766	9701	29.69	14.85	14.85	25.55	10.11	3.82	1.10	0.02
				44.54		40.40		10.11	3.82	1.10	0.02
				4320.80		3919.17		981.02	370.36	106.81	2.00

Ligeiros

Tipo de Veículo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automovel	2	0	4320.80	11.83779818	45%	45%	0.050	0.59189		
Utilitarios	2	6	2.00	0.005479213	0%	0%	0.300	0.001644	1.382819	

Total

Pesado

Tipo de Veículo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga (FC)	Fator de Eixos (FE)
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	--------	-------	------------------------------------	---------------------------	---------------------	---------------------

Eixo Simples

Camiões le	3	6	981.02	2.687718268	10%	10%	0.300	0.806315		
Camiões M	4	8	370.36	1.0146723	4%	4%	1.000	1.014672	8.696502	

Total

Eixo Tandem Duplo

Reboque/I	4	12	106.81	0.292639776	1%	1%	10.000	2.926398		
Onibus	3	10	3919.17	10.73745375	40%	40%	3.500	37.58109	89.92068	

Total

Total Pesado

Total Veículos			9700.1529	26.57576149	100%	100%		42.92201		100
----------------	--	--	-----------	-------------	------	------	--	----------	--	-----

Calculo num. N

FC	1.615081		
FE	3.885379	Numero N	2109336
FV	5.50046		2.11E+06
VDM	26.57576		
P	9		
FR	0.7		

T1169

Link_Id	FromKm	ToKm	AADT	automovels		Onibus		Caminhões Leves	Caminhões Médios	Reboque /Articulados	0.04
				CarMedium	GoodVehicle	BusLight	BusMedium	TruckMedium	TruckHeavy	TruckArticulated	
T1169	18.766	30.876	5096	34.77	17.39	17.39	11.81	11.60	5.16	1.84	
				52.16		29.20		11.60	5.16	1.84	
				2658.00		1488.00		591.00	263.00	94.00	

Ligeiros

Tipo de Veículo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automovei	2	0	2658.00	7.282192	52%	52%	0.050	0.36411	1.977325	
Utilitarios	2	6	0.00	0	0%	0%	0.300	0		

Total

Pesado

Tipo de Veículo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga FC	Fator de Eixos (FE)
Camhões le	3	6	591.00	1.619178	12%	12%	0.300	0.485753	16.62352	
Camhões M	4	8	263.00	0.720548	5%	5%	1.000	0.720548		

Eixo Simples

Total

Eixo Tandem Duplo

Reboque/#	4	12	94.00	0.257534	2%	2%	10.000	2.575342	81.39915	
Onibus	3	10	1488.00	4.076712	29%	29%	3.500	14.26849		

Total Pesado

Total Veiculos	5094	13.95616	100%	100%			18.41425	100		
----------------	------	----------	------	------	--	--	----------	-----	--	--

Calculo num. N

FC	1.319435		
FE	3.794218	Numero N	821563.11
FV	5.113653		8.22E+05
VDM	13.95616		
P	9		
FR	0.7		

T1118

				automoveis		Onibus		Caminhoes Leves	Caminhoes Medios	Reboque /Articulado	utilitarios
Link_id	FromKm	ToKm	AADT	CarMedium	GoodsVehicle	BusLight	BusMedium	TruckMedium	TruckHeavy	TruckArticulated	Agricultural tractors
T1118	30.875	47.700	1703	33.47	16.74	16.74	11.22	8.81	7.11	3.52	2.41
				50.21		27.95		8.81	7.11	3.52	2.41
				855.00		476.00		150.00	121.00	60.00	41.00

Ligeiros

Tipo de Veiculo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalencia de operacoes	Equivalencia de operacoes	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automovel	2	0	855.00	2.342466	50%	50%	0.050	0.117123		
Utilitarios	2	6	41.00	0.112329	2%	2%	0.300	0.033699	2.213466	

Total

Pesado

Tipo de Veiculo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalencia de operacoes	Equivalencia de operacoes	Fator de Carga FC	Fator de Eixos (FE)
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	--------	-------	------------------------------------	---------------------------	-------------------	---------------------

Eixo Simples

Camioes le	3	6	150.00	0.410959	9%	9%	0.300	0.123288		
Camioes M	4	8	121.00	0.331507	7%	7%	1.000	0.331507	25.93434	

Total

Eixo Tandem Duplo

Reboque/#	4	12	60.00	0.164384	4%	4%	10.000	1.643836		
Onibus	3	10	476.00	1.30411	28%	28%	3.500	4.564384	71.85219	

Total

Total Pesado

Total Veiculos	1703	4.665753	100%	100%			6.813836	100		
----------------	------	----------	------	------	--	--	----------	-----	--	--

Calculo num. N

FC	1.460393		
FE	3.696387	Numero N	298662.84
FV	5.156781		2.99E+05
VDM	4.665753		
P	9		
FR	0.7		

T1194

Link_Id	Prom/km	Tot/km	AADT	automoveis			Onibus		Caminhoes Leves	Caminhoes Médios	Reboque /Articulado	utilitarios
				CarMedium	Goods/vehicle		BusLight	Bus Medium	TruckMedium	Truck Heavy	TruckArticulated	
T1194	47.700	74.996	1367	37.68	18.84		18.84	9.37	5.60	3.91	5.57	0.20
				56.52			28.21		5.60	3.91	5.57	0.20
				772.45			385.56		76.49	53.39	76.09	2.75

Ligeiros

Tipo de Veículo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automovel	2	0	772.45	2.116312	57%	57%	0.050	0.105816	1.772027	
Utilitarios	2	6	2.75	0.007533	0%	0%	0.300	0.00226		

Total

Pesado

Tipo de Veículo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga (FC)	Fator de Eixos (FE)
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	--------	-------	------------------------------------	---------------------------	---------------------	---------------------

Eixo Simples

Camioes le	3	6	76.49	0.209554	6%	6%	0.300	0.062866	35.20983	
Camioes M	4	8	53.39	0.146277	4%	4%	1.000	0.146277		

Total

Eixo Tandem Duplo

Reboque/H	4	12	76.09	0.208457	6%	6%	10.000	2.084572	63.01814	
Onibus	3	10	385.56	1.056338	28%	28%	3.500	3.697183		

Total

Total Pesado

Total Veículos	1366.73196	3.744471	100%	100%	6.098974	100
----------------	------------	----------	------	------	----------	-----

Calculo num. N

FC	1.628794	
FE	3.612461	Numero N 265539.233
FV	5.241256	2.66E+05
VDM	3.744471	
P	9	
FR	0.7	

T1176

Link_Id	From/km	To/km	AADT	automoveis		Onibus		Caminhoes Leves	Caminhoes Medios	Reboque (Articulado)	utilitarios
				CarMedium	GoodsVehicle	BusLight	Bus Medium	TruckMedium	Truck Heavy	TruckArticulated	
T1176	100.000	120.000	1568	30.19	15.10	15.10	13.25	9.17	6.95	10.00	0.26
				45.29		28.34		9.17	6.95	10.00	0.26
				710.22		444.47		143.80	109.05	156.84	4.00

Ligeiros

Tipo de Veiculo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalencia de operacoes	Equivalencia de operacoes	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automovel	2	0	710.22	1.945808	45%	45%	0.050	0.09729		
Utilitarios	2	6	4.00	0.010961	0%	0%	0.300	0.003288	1.108123	

Total

Pesado

Tipo de Veiculo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalencia de operacoes	Equivalencia de operacoes	Fator de Carga FC	Fator de Eixos (FE)
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	--------	-------	------------------------------------	---------------------------	-------------------	---------------------

Eixo Simples

Camioes le	3	6	143.80	0.393965	9%	9%	0.300	0.118189		
Camioes M	4	8	109.05	0.298777	7%	7%	1.000	0.298777	48.64331	

Total

Eixo Tandem Duplo

Reboque/H	4	12	156.84	0.429692	10%	10%	10.000	4.296917		
Onibus	3	10	444.47	1.217723	28%	28%	3.500	4.26203	50.24856	

Total

Total Pesado

Total Veiculos	1568.37777	4.296925	100%	100%			9.076493	100		
----------------	------------	----------	------	------	--	--	----------	-----	--	--

Calculo num. N

FC	2.112323		
FE	3.491404	Numero N	408346.268
FV	5.603727		4.08E+05
VDM	4.296925		
P	9		
FR	0.7		

Link_Id	FromKm	ToKm	AADT	automovels		Onibus		Caminhoes Leves	Caminhoes Medios	Reboques /Articulados	utilitarios
				CarMedium	GoodsVehicle	BusLight	BusMedium	TruckMedium	TruckHeavy	TruckArticulated	
T1910	74.996	78.500	1367	37.68	18.84	18.84	9.37	5.60	3.91	5.57	0.20
				56.52		28.21		5.60	3.91	5.57	0.20
				772.45		385.56		76.49	53.39	76.09	2.75

Ligeiros

Tipo de Veiculo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_ %	VDM_ %	Fator de equivalencia de operacoes	Equivalencia de operacoes	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automovel	2	0	772.45	2.116311542	57%	57%	0.050	0.105816	1.772027	
Utilitarios	2	6	2.75	0.007533031	0%	0%	0.300	0.00226		

Total

Pesado

Tipo de Veiculo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_ %	VDM_ %	Fator de equivalencia de operacoes	Equivalencia de operacoes	Fator de Carga FC	Fator de Eixos (FE)
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	---------	--------	------------------------------------	---------------------------	-------------------	---------------------

Eixo Simples

Camioes le	3	6	76.49	0.209554481	6%	6%	0.300	0.062866	35.20983	
Camioes M	4	8	53.39	0.146276868	4%	4%	1.000	0.146277		

Total

Eixo Tandem Duplo

Reboque//	4	12	76.09	0.208457193	6%	6%	10.000	2.084572	63.01814	
Onibus	3	10	385.56	1.056338017	28%	28%	3.500	3.697183		

Total

Total Pesado

Total Veiculos	1366.732	3.744471133	100%	100%	6.098974	100
----------------	----------	-------------	------	------	----------	-----

Calculo num. N

FC	1.628794	Numero N	265539.23
FE	3.612461		
FV	5.241256		
VDM	3.744471		
P	9		
FR	0.7		

T1121

Link_Jd	FromKm	ToKm	AADT	automoveis		Onibus		Caminhoes Leves	Caminhoes Medios	Reboque /Articulado	utilitarios
				CarMedium	GoodVehicle	BusLight	BusMedium	TruckMedium	TruckHeavy	TruckArticulated	
T1121	120.000	129.000	1510	29.14	14.57	14.57	14.70	8.74	6.89	11.32	0.07
				43.71		29.27		8.74	6.89	11.32	0.07
				660.00		442.00		132.00	104.00	171.00	1.00

Ligeiros

Tipo de Veiculo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalencia de operacoes	Equivalencia de operacoes	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automovel	2	0	660.00	1.808219178	44%	44%	0.050	0.090411	0.969743	
Utilitarios	2	6	1.00	0.002739726	0%	0%	0.300	0.000822		

Total

Pesado

Tipo de Veiculo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalencia de operacoes	Equivalencia de operacoes	Fator de Carga FC	Fator de Eixos FE
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	--------	-------	------------------------------------	---------------------------	-------------------	-------------------

Eixo Simples

Camioes le	3	6	132.00	0.361643836	9%	9%	0.300	0.108493	50.95081	
Camioes M	4	8	104.00	0.284931507	7%	7%	1.000	0.284932		

Total

Eixo Tandem Duplo

Reboque//	4	12	171.00	0.468493151	11%	11%	10.000	4.684932	48.07944	
Onibus	3	10	442.00	1.210958904	29%	29%	3.500	4.238356		

Total

Total Pesado

Total Veiculos	1510	4.136986301	100%	100%	9.407945	100
----------------	------	-------------	------	------	----------	-----

Calculo num. N

FC	2.274106	
FE	3.471097	Numero N 431420.04
FV	5.745203	4.31E+05
VDM	4.136986	
P	9	
FR	0.7	

T1119

			automóveis		ônibus		Caminhões Leves	Caminhões Médios	Reboque (Articulado)	utilitários
Link_Id	From/km	To/km	AADT	CarMedium	GoodVehicle	BusLight	BusMedium	TruckMedium	TruckHeavy	TruckArticulated
T1119	78.500	85.000	2324	34.08	17.04	17.04	10.93	7.70	5.29	7.44
				51.12		27.97		7.70	5.29	7.44
				1188.00		650.00		179.00	123.00	173.00
										0.47
										0.47
										11.00

Ligeiros

Tipo de Veículo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automóvel	2	0	1188.00	3.254795	51%	51%	0.050	0.16274	1.477241	
Utilitários	2	6	11.00	0.030137	0%	0%	0.300	0.009041		

Total

Pesado

Tipo de Veículo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_%	VDM_%	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga FC	Fator de Eixos (FE)
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	--------	-------	------------------------------------	---------------------------	-------------------	---------------------

Eixo Simplex

Caminhões L	3	6	179.00	0.490411	8%	8%	0.300	0.147123	42.02479	
Caminhões M	4	8	123.00	0.336986	5%	5%	1.000	0.336986		

Total

Eixo Tandem Duplo

Reboque/A	4	12	173.00	0.473973	7%	7%	10.000	4.739726	56.49797	
Ônibus	3	10	650.00	1.780822	28%	28%	3.500	6.232877		

Total

Total Pesado

Total Veículos	2324	6.367123	100%	100%			11.62849	100		
----------------	------	----------	------	------	--	--	----------	-----	--	--

Calculo num. N

FC	1.826334		
FE	3.550207	Numero N	510403.39
FV	5.376541		5.10E+05
VDM	6.367123		
P	9		
FR	0.7		

T1142

				automoveis		Onibus		Caminhoes s Leves	Caminhoes s Medios	Reboque (Articulado s
Link_Id	FromKm	ToKm	AADT	CarMedium	GoodsVehicle	BusLight	Bus Medium	TruckMedium	Truck Heavy	TruckArtou lated
T1142	85.000	100.000	1949	34.53	17.26	17.26	11.08	7.81	4.56	7.44
				51.79		28.35		7.81	4.56	7.44
				1009.31		552.42		152.21	88.92	145.07

Ligeiros

Tipo de Veículo	N.de eixos	Eixos Simples (tf)	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_ %	VDM_ %	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga	Fator de Eixos
Automovel	2	0	1009.31	2.76523	52%	52%	0.050	0.138261		
Utilitarios	2	6	0.00	0	0%	0%	0.300	0	1.413889	

Total

Pesado

Tipo de Veículo	N.de eixos	Peso tf	AADT (veic/dia)	VDM	AADT_ %	VDM_ %	Fator de equivalência de operações	Equivalência de operações	Fator de Carga FC	Fator de Eixos (FE)
-----------------	------------	---------	-----------------	-----	---------	--------	------------------------------------	---------------------------	-------------------	---------------------

Elxo Simples

Camiões le	3	6	152.21	0.417012	8%	8%	0.300	0.125104		
Camiões M	4	8	88.92	0.243609	5%	5%	1.000	0.243609		41.92487

Total

Elxo Tandem Duplo

Reboque//	4	12	145.07	0.397465	7%	7%	10.000	3.974649		
Onibus	3	10	552.42	1.513481	28%	28%	3.500	5.297184		56.66124

Total

Total Pesado

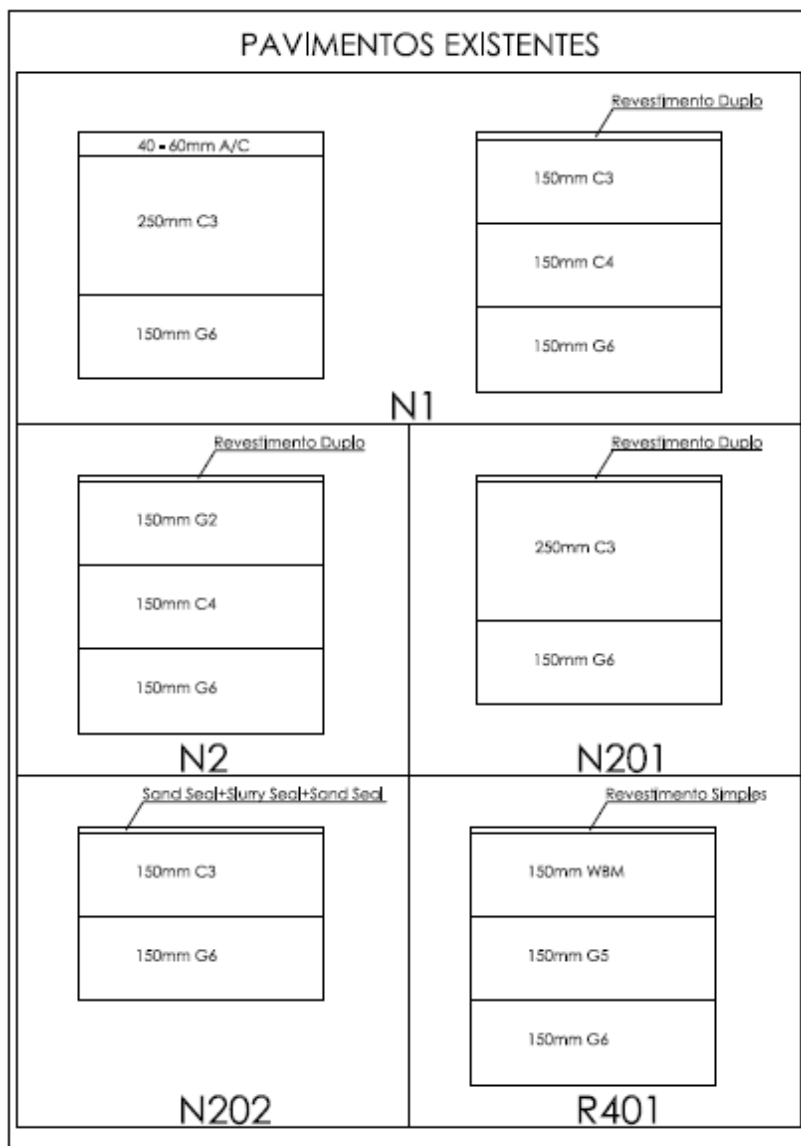
Total Veiculos	1947.331	5.336797	100%	100%			9.778808	100		
----------------	----------	----------	------	------	--	--	----------	-----	--	--

Calculo num. N

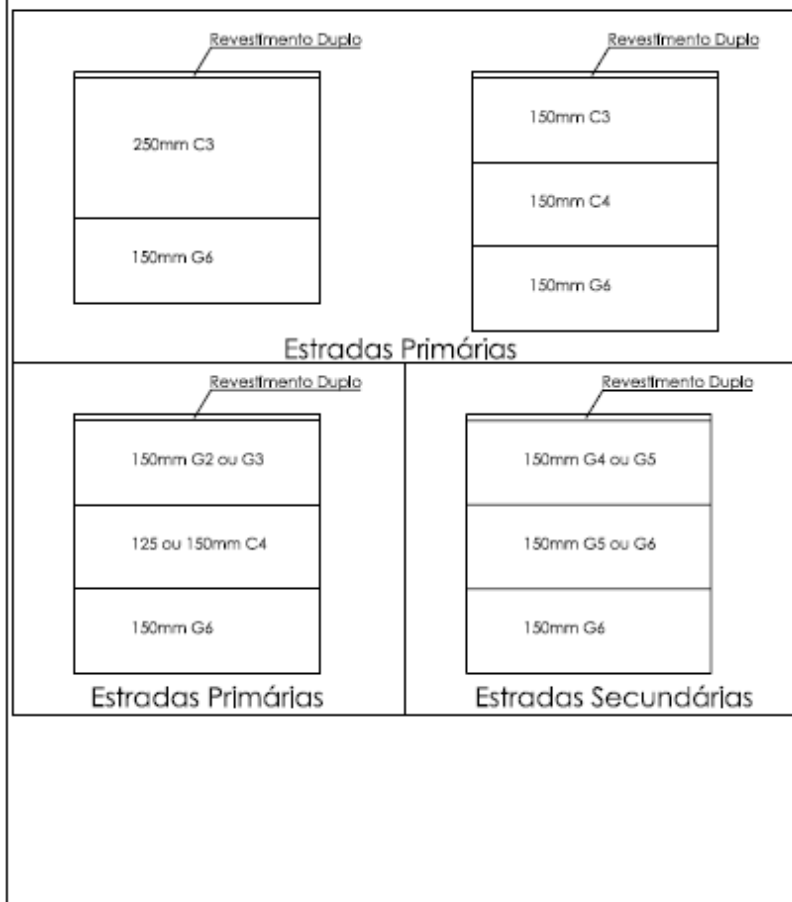
FC	1.832336		
FE	3.552473	Numero N	430150.61
FV	5.38481		4.30E+05
VDM	5.336797		
P	9		
FR	0.7		

ANEXOS

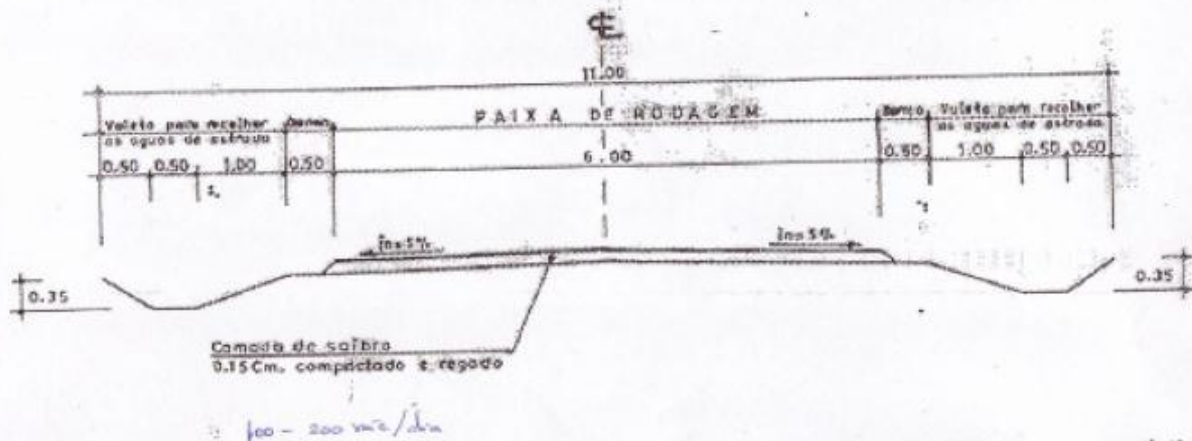
Anexo A – Espessura dos Pavimentos



PAVIMENTOS TÍPICOS

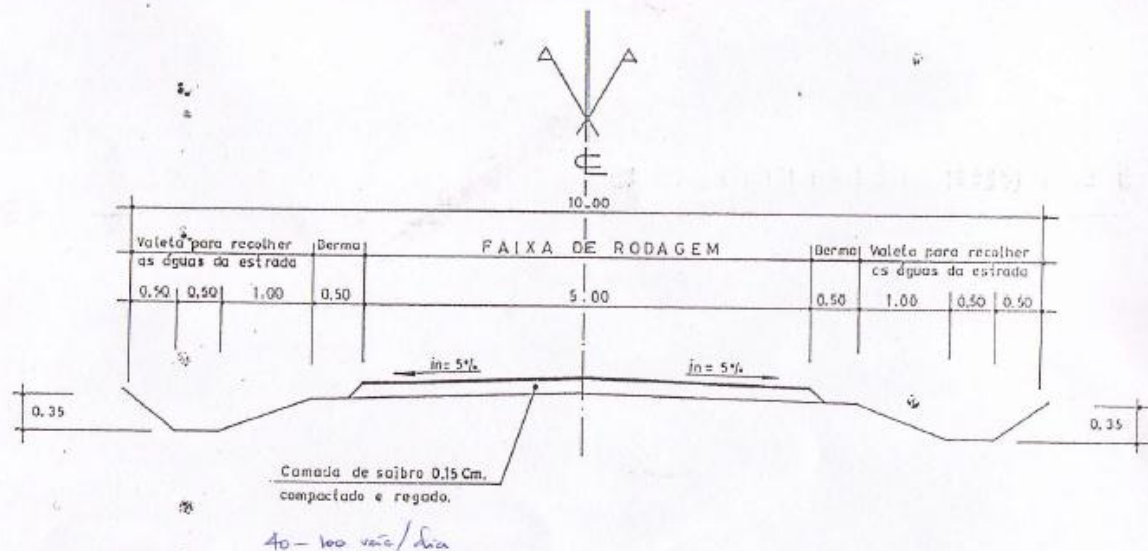


PERFIL TRANSVERSAL DE ESTRADA DA TERRA

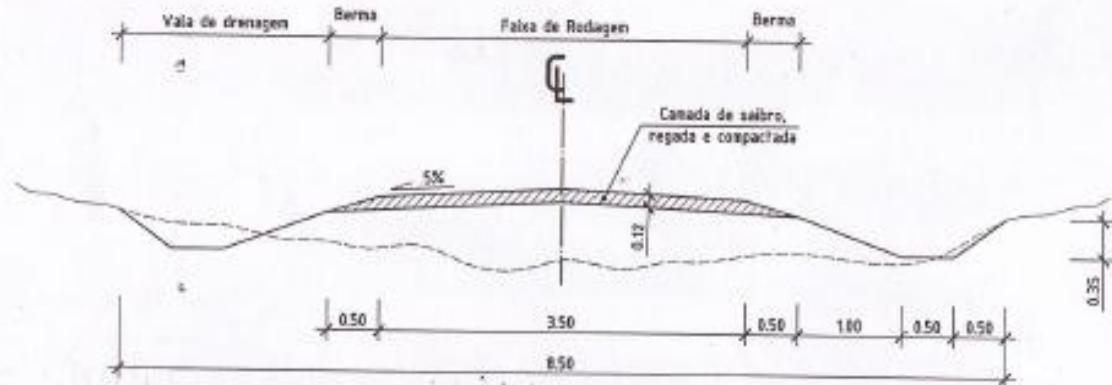


PERFIL TRANSVERSAL TIPO "A"

PERFIL TRANSVERSAL DE ESTRADA DE TERRA



PERFIL TRANSVERSAL TIPO "B"



PERFIL TRANSVERSAL TIPO "C"

ESC 1:50

>40 m²/km